CONGRÈS NATIONAL DES SCIENCES

BRUXELLES

1930

Presented by:
Fonds National de la Recherche Scientifique.

CONGRÈS NATIONAL DES SCIENCES

Comptes Rendus

CONGRÈS NATIONAL DES SCIENCES

SOUS LE HAUT PATRONAGE DE S. M. LE ROI

PRÉSIDENT D'HONNEUR :
M. le Professeur J. BORDET, Président du Comité National de Recherches

Organisé par la Fédération Belge des Sociétés Scientifiques
sous les Auspices de la Commission Nationale du Centenaire
Bruxelles, 29 Juin — 2 Juillet 1930

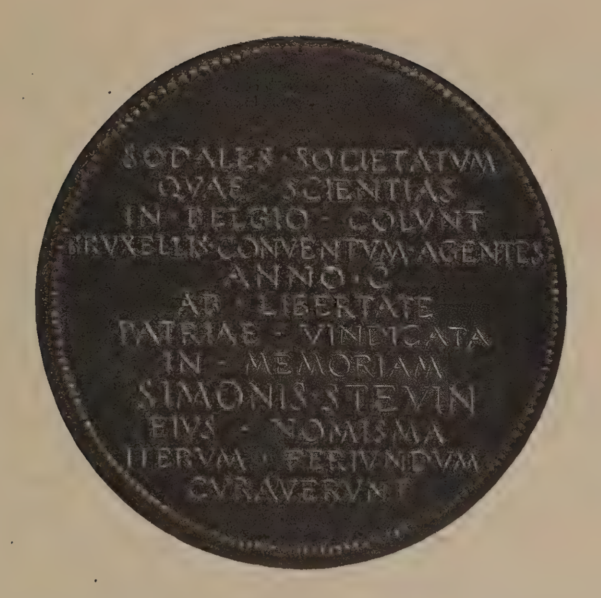
Comptes Rendus

Secrétaire général : JEAN ROSE
RUE J. LAMBEAU, BRUXELLES



Simon STEVIN naquit à Bruges, en 1548, et mourut, en 1620 dans les Pays-Bas septentrionaux. De tous les Belges, c'est le savant dont l'influence sur le développement général de la science a été la plus profonde. La ville de Bruges lui a élevé une statue en 1895.

L'illustre brugeois a publié en français, en flamand et en latin plusieurs ouvrages remarquables sur l'arithmétique, l'algèbre, la statique, l'hydrostatique, l'urbanisme et l'économie politique. Il a fait faire à la science de grands progrès ; en particulier, il l'a dotée d'une théorie des fractions décimales ; il a donné une formule unique pour l'équation du deuxième degré et une méthode simple pour les équations numériques de tous degrés. Il propose le système décimal des poids et mesures, est un précurseur du calcul infinitésimal et ses recherches en mécanique ne sont pas moins heureuses.



La médaille frappée en l'honneur du Congrès National des Sciences est une reproduction d'une médaille que possède la Bibliothèque royale et qui date de 1607.

L'inscription latine qu'elle porte à son revers a été composée par M. Kugener, professeur d'épigraphie latine à l'Université de Bruxelles ; en voici la traduction :

« Les membres des Sociétés Scientifiques de Belgique, tenant un Congrès à Bruxelles en l'année du Centenaire de l'Indépendance Nationale, se sont souvenus de Simon STEVIN et ont fait frapper de nouveau sa médaille. »

On peut consulter au sujet de Simon Stévin de nombreux articles du R. P. Bosmans, S. J. publiés dans les « Annales de la Société Scientifique » de Bruxelles et la « Revue des Questions Scientifiques » (1910, 1911, 1913, 1920) et aussi dans la « Bibliographie Nationale » **23,** 884-938.

Le Congrès a été organisé sous le Haut Patronage de S. M. Albert Ier, Roi des Belges

---

Comité d'honneur

M. H. Jaspar, Premier Ministre et Ministre des Colonies.

M. M. Vauthier, Ministre des Sciences et des Arts.

M. Ad. Max, Ministre d'Etat, Bourgmestre de la Ville de Bruxelles.

M. E. Francqui, Ministre d'Etat, Président de la Fondation Universitaire et du Fonds National de la Recherche Scientifique.

M. E. Marchal, Professeur à l'Institut Agronomique de l'Etat à Gembloux, Président de l'Académie Royale de Belgique.

M. le Dr M. Herman, Directeur honoraire de l'Institut provincial d'Hygiène de la Province de Hainaut, Président de l'Académie Royale de Médecine.

M. Ch. J. de la Vallée Poussin, Professeur à l'Université de Louvain, Membre de l'Académie Royale, Président du Comité National de Mathématiques.

M. A. de Hemptinne, Professeur à l'Université de Louvain, Membre de l'Académie Royale, Président du Comité National de Physique.

M. F. Swarts, Professeur à l'Université de Gand, Membre de l'Académie Royale, Président du Comité National de Chimie pure et appliquée.

M. P. Stroobant, Directeur de l'Observatoire Royal, Professeur à l'Université de Bruxelles, Membre de l'Académie Royale, Président du Comité National d'Astronomie.

M. Th. De Donder, Professeur à l'Université de Bruxelles, Membre de l'Académie Royale, Président du Comité National de Radiotélégraphie scientifique.

Le Général Seligmann, Directeur honoraire de l'Institut Cartographique Militaire, Président du Comité National de Géodésie et de Géophysique.

M. A. de Gerlache de Gomery, Président du Comité National de Géographie.

M. le Dr L. Frédéricq, Professeur émérite à l'Université de Liége, Membre de l'Académie Royale, Vice-Président du Comité National des Sciences biologiques.

Président d'honneur du congrès

M. J. Bordet, Professeur à l'Université de Bruxelles, Président du Conseil National de Recherches.

Comité exécutif du congrès

Bureau de la Fédération des Sociétés scientifiques belges :

Président : M. J. Timmermans, Professeur à l'Université de Bruxelles.
Vice-Président : M. M. de Selys Longchamps, Professeur à l'Université de Bruxelles, Membre de l'Académie Royale.
Secrétaire Général : M. J. Rose, Professeur à l'Athénée d'Ixelles, 120, avenue Lambeau, Bruxelles.
Trésorier : M. J. Wauters, Directeur honoraire du Laboratoire de la Ville de Bruxelles, 83, rue Souveraine, Bruxelles.
En plus les délégués des sections.

Bureaux des sections

I. Mathématiques. — *Président :* M. Ad. Mineur, Professeur à l'Université de Bruxelles, Correspondant de l'Académie Royale, Président de la Société Mathématique.

Secrétaire : M. J. Rose, 120, Avenue Lambeau, Bruxelles.

Délégué au Comité exécutif : M. Ad. Mineur.

II. Physique. — *Président :* M. A. de Hemptinne, Président de la Société de Physique.

Secrétaire : M. C. Manneback, Professeur à l'Université de Louvain, 27, rue de la Tourelle, Bruxelles.

Délégué au Comité exécutif : M. C. Manneback.

III. Chimie. — *Président :* M. P. Bruylants, Professeur à l'Université de Louvain, Correspondant de l'Académie Royale, Président de la Société Chimique.

Secrétaire : M. A. Julliard, Assistant à l'Université de Bruxelles, 70, rue Faider, Bruxelles.

Délégué au Comité exécutif : M. P. Bruylants.

IV. Astronomie. — *Président :* M. P. Stroobant, Directeur de l'Observatoire Royal.

Secrétaire : M. H. Vanderlinden, Professeur à l'Université de Gand, Astronome à l'Observatoire Royal, Observatoire Royal, Uccle.

Délégué au Comité exécutif : M. F. de Roy, secrétaire général de la Société d'Astronomie d'Anvers, ancien Président de la Fédération.

V. Géophysique et Géodésie. — *Président* : Le Général SELIGMANN.

Secrétaire : M. A. LETROYE, Dr sc. phys. et math., Chef du Bureau des Calculs géodésiques à l'Institut cartographique militaire, à Ohain.

Délégué au Comité exécutif : M. E. LAGRANGE, Professeur émérite à l'Ecole militaire, Président de la Société d'Astronomie.

VI. Géologie. — *Président* : M. A. RUTOT, Conservateur honoraire au Musée Royal d'Histoire naturelle, Membre de l'Académie Royale.

Secrétaire : M. Ch. CAMERMAN, Ingénieur, 16, Square Gutenberg, Bruxelles.

Délégués au Comité exécutif : Société Géologique de Belgique : M. P. FOURMARIER, Professeur à l'Université de Liége, Membre de l'Académie Royale ; Société Belge de Géologie : M. A. RENIER, Chef du Service géologique, Professeur à l'Université de Liége, Correspondant de l'Académie Royale.

VII. Botanique. — *Président* : M. A. GRAVIS, Professeur émérite à l'Université de Liége, Membre de l'Académie Royale, Président de la Société de Botanique.

Secrétaire: M. L. HAUMAN, Professeur à l'Université de Bruxelles, Correspondant de l'Académie Royale, 16, rue des Bollandistes, Bruxelles.

Délégué au Comité exécutif : M. E. MARCHAL, Président de l'Académie Royale.

VIII. Zoologie. — *Président*: M. V. WILLEM, Professeur à l'Université de Gand, Membre de l'Académie Royale, Président de la Société de Zoologie.

Secrétaire : M. M. DE SELYS LONGCHAMPS, avenue Jean Linden, 61, Bruxelles.

Délégué au Comité exécutif : M. M. DE SELYS LONGCHAMPS.

Entomologie (sous-section). — *Président* : M. H. SCHOUTEDEN, Directeur du Musée Colonial de Tervueren, Président de la Société Entomologique.

Secrétaire : M. A. D'ORCHYMONT, Conservateur au Musée Royal d'Histoire naturelle, 31, rue Vautier, Bruxelles.

Délégué au Comité exécutif : M. L. GILTAY, Conservateur adjoint au Musée Royal d'Histoire naturelle.

IX. Biologie. — *Président*: M. P. RUBAY, Recteur de l'Ecole de Médecine vétérinaire de l'Etat à Cureghem, Président de la Société de Biologie.

Secrétaire : M. P. SPEHL, Agrégé à l'Université de Bruxelles, Fondation Reine Elisabeth, Hôpital Brugmann, Bruxelles.

Délégué au Comité exécutif : M. P. RUBAY.

X. **Anthropologie.** — *Président :* M. E. Van den Broeck, Conservateur honoraire au Musée Royal d'Histoire naturelle, Président de la Société royale d'Anthropologie et de Préhistoire.
Secrétaire : M. le Dr L. De Keyser, 9, rue des Sablons, Bruxelles.
Délégué au Comité exécutif : M. le Dr L. De Keyser.

XI. **Sciences Médicales.** — *Président :* M. le Dr Nolf, ancien Ministre des Sciences et des Arts, Professeur à l'Université de Liége, Membre de l'Académie Royale, Directeur de la Fondation Reine Elisabeth.
Secrétaire : M. le Dr B. Dujardin, Agrégé à l'Université de Bruxelles, 87, rue d'Arlon, Bruxelles.
Délégué au Comité exécutif : M. le Dr B. Dujardin.

XII. **Hygiène.** — *Président :* M. E. Malvoz, Professeur à l'Université de Liége, Membre de l'Académie Royale de Médecine.
Secrétaire : M. le Dr A. Bech, Agrégé à l'Université de Bruxelles, Directeur du Service de l'Hygiène publique de la Ville de Bruxelles, 30, avenue du Petit Prince, Forest.
Délégué au Comité exécutif : M. le Dr A. Bech.

Historique du Congrès

Au mois de mai 1929, M. P. Pelseneer, Secrétaire perpétuel de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique, s'adressant à M. F. de Roy, à cette époque Président de la Fédération des Sociétés scientifiques, annonçait à ce dernier que la Commission Nationale du Centenaire avait conçu l'idée de réunir à Bruxelles en 1930 un Congrès National des Sciences et avait pensé à la Fédération pour en assurer l'organisation. Dès le mois suivant, M. Pelseneer exposait les grandes lignes de son projet devant le Conseil Général de la Fédération. En octobre 1929, l'organisation des diverses sections fut définitivement arrêtée ; mais pour des raisons d'opportunité, la création des sections de géographie, d'agronomie et des sciences appliquées fut abandonnée.

S. M. le Roi consentit à ce que ce Congrès fût placé sous son Haut Patronage, donnant ainsi une preuve nouvelle de l'intérêt qu'Elle porte aux questions scientifiques.

M. Jules Bordet, Président du Conseil National de Recherches, voulut bien assumer la charge de Président d'honneur du Congrès, qui revenait tout naturellement à notre illustre compatriote, titulaire d'un prix Nobel.

Cérémonies préliminaires

Le samedi 28 juin à 16 heures, un grand nombre de membres du Congrès assistèrent à la séance d'ouverture des Journées Médicales, à laquelle ils avaient été aimablement conviés.

Dans la soirée, une réception intime réunit les congressistes dans les salons de la Fondation Universitaire.

Séance inaugurale

Cette cérémonie se déroule dans la grande salle du Palais des Académies.

LL. MM. le Roi et la Reine rehaussent de leur Présence la séance inaugurale.

M. Jaspar, Premier Ministre, préside cette séance d'ouverture. Il est entouré de MM. J. Bordet, Président d'honneur du Congrès ; L. Marchal, Président de l'Académie Royale ; M. Herman, Président de l'Académie de Médecine ; des membres du Comité d'Honneur, du Comité Exécutif, des Bureaux de Section, du Conseil Général de la Fédération des Sociétés scientifiques, ainsi que des délégués étrangers : MM. Nuttall, Rabaud, Van Iterson et Klein.

Discours de M. J. Timmermans, Président du Comité Exécutif.

Quand la réunion du Congrès national des Sciences fut suggérée à la Fédération des Sociétés scientifiques, celle-ci ne crut pas pouvoir se refuser à entreprendre cette tâche que l'Académie royale n'avait pas désiré assumer elle-même. N'était-il pas indispensable, en effet, en cette année jubilaire, où l'on fait le bilan glorieux des résultats atteints dans tous les domaines de l'activité nationale, de mettre aussi en évidence, aux yeux de nos compatriotes et de nos amis de l'étranger, l'état actuel de la recherche scientifique dans le pays et de montrer la part importante prise par les Belges au développement de la science pure.

La réalisation de ce projet n'était possible qu'avec le concours des plus hautes autorités de la Belgique et par la coopération de tout ce que le pays comprend d'hommes cultivant les sciences exactes et naturelles, domaine auquel se limite l'activité de notre Fédération. La réunion d'aujourd'hui montre que ces concours ne nous ont pas manqué. Le Roi a daigné accorder son Haut Patronage au Congrès et Sa présence parmi nous aujourd'hui, en compagnie de la Reine, est un nouveau et précieux témoignage de l'intérêt avec lequel Leurs Majestés n'ont cessé d'encourager le mouvement scientifique du pays ; nous en sommes d'autant plus touchés que nous nous rendons bien compte des lourdes charges que la Famille Royale doit accepter cette année, pour répondre à l'appel des innombrables manifestations organisées à l'occasion du Centenaire de l'Indépendance de la Belgique.

Nous remercions également Monsieur le Premier Ministre et Monsieur le Ministre des Sciences et des Arts d'avoir bien voulu représenter le Gouvernement au sein de notre Comité d'honneur et d'avoir accordé au Congrès, par l'intermédiaire de la Commission nationale du Centenaire, la subvention indispensable à la publication in extenso des comptes rendus de ces assises scientifiques. Quant à Monsieur le Bourgmestre de Bruxelles n'est-il pas la personnification de nos magistrats communaux, aussi grands par leur héroïsme du temps de guerre, que soucieux de l'intérêt des œuvres éducatrices de la paix.

Dans tous les milieux scientifiques du pays, l'appel de la Fédération a reçu l'accueil que nous espérions. Notre président d'honneur, le président de l'Académie royale, le président de l'Académie de Médecine, les présidents des Comités nationaux de Recherches, les membres des Académies, les comités de toutes nos Sociétés scientifiques, ont accordé au bureau du Congrès l'appui précieux de leur autorité et leur collaboration à l'œuvre commune.

Nous nous félicitons également de voir annoncer un certain nombre de communications en langue flamande ; cette collaboration est un signe réconfortant de l'émulation qui unit tous les hommes de science belges dans un égal amour de la science et du pays.

Nous saluons Monsieur le professeur Klein, Président de l'Institut Grand-Ducal, représentant de nos frères luxembourgeois qui ont fourni tant de professeurs remarquables à nos universités. Enfin, nous remercions

Monsieur Nuttall, professeur à l'Université de Cambridge, délégué de la British Association for the Advancement of Science, Monsieur Rabaud, professeur à la Sorbonne, président de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences et Monsieur Van Iterson, professeur à la Technische Hoogeschool de Delft, président de « Het Nederlandsch Natuur en Geneeskundig Congres », d'avoir bien voulu représenter parmi nous ces puissantes associations dont l'action est similaire à la nôtre.

*
* *

Pour juger d'une façon équitable le bilan de l'activité scientifique de la Belgique, tel qu'il ressortira des travaux de ce Congrès, il est indispensable de se reporter au passé et de se rendre compte de l'abîme d'où l'effort des chercheurs, poursuivi pendant plus d'un siècle, nous a fait sortir, pour nous mener à la situation actuelle.

A la Renaissance et jusqu'au début du XVII[e] siècle, nos provinces avaient occupé une place de tout premier rang dans le mouvement intellectuel de l'Europe. L'image de Simon Stévin, le grand mathématicien brugeois dont la médaille du Congrès, œuvre magistrale du XVII[e] siècle, reproduit les traits, évoque cette période glorieuse. Mais au début du XVIII[e] siècle, notre pays ne présentait plus, pour reprendre les termes qu'un auteur contemporain applique aux derniers temps de l'empire romain, que le spectacle d'une « nullité intellectuelle affligeante ». Nous devons aux agents en Belgique du despotisme éclairé de l'Autriche, les premiers efforts de relèvement : ceux-ci se sont traduits dans le domaine scientifique, par la création à Bruxelles de l'Académie impériale et l'ouverture au public de la Bibliothèque de Bourgogne, embryon de notre Bibliothèque royale.

Ces institutions furent balayées par l'invasion des armées révolutionnaires; l'incorporation de nos provinces à l'empire français n'a pas eu pour résultat de nouvelles initiatives destinées à élever le niveau de la vie scientifique de la Belgique : les facultés de Bruxelles et de Liége n'étaient guère, en effet, que de hautes écoles professionnelles destinées à fournir les cadres du régime ; mais la proximité d'un centre intellectuel aussi brillant que Paris, eut pour conséquence d'éveiller la vocation de quelques jeunes gens bien doués parmi lesquels on peut citer le chimiste et agronome Jean-Baptiste Van Mons et l'immortel créateur de la géologie d'Omalius d'Halloy.

Malgré sa brièveté et les luttes politiques qui l'agitèrent, la période hollandaise de notre histoire fut plus féconde à ce point de vue : l'Académie royale est rouverte dès 1815, le Jardin botanique créé en 1826; la plus ancienne de nos sociétés scientifiques, la Société des Sciences médicales et naturelles de Bruxelles est fondée en 1822; les Universités de l'Etat à Gand, Liége et Louvain jouissent des services d'un excellent corps enseignant : si celui-ci n'exerce aucune influence morale sur ses élèves, ses leçons contribuent cependant à former quelques-uns des principaux acteurs de la Révolution de 1830.

Après la période troublée des premières années de notre Indépendance,

l'œuvre de relèvement de la vie scientifique reprit bientôt. A côté des Universités de l'Etat à Gand et à Liége s'étaient créées l'Université catholique de Louvain et l'Université libre de Bruxelles. Les Chambres élaborent, dès 1835, les premières lois concernant l'organisation et le contrôle de l'enseignement supérieur. A cette époque remonte aussi l'Observatoire royal qui occupe immédiatement une position éminente grâce aux initiatives de son fondateur Quetelet, le créateur de la Physique sociale. L'apparition de l'Académie de Médecine, en 1842 et la réforme des statuts de l'Académie royale en 1845 me paraissent pouvoir marquer le terme de cette période initiale d'organisation.

Ensuite, jusque vers 1880, s'en développe une seconde, l'une des plus brillantes que notre pays ait jamais connues dans le domaine des sciences ; je n'en veux pour preuve que le témoignage du genevois Alphonse de Candolle dans sa curieuse *Histoire des Sciences et des Savants*, qui date de 1873 : La Belgique y est classée, immédiatement après la France, l'Allemagne et l'Angleterre, avant la Hollande, l'Italie, les Etats-Unis, l'Espagne.

*
* *

A cette époque, les hommes de science les plus remarquables de notre pays sont généralement des autodidactes, du moins en ce sens qu'ils jouent le rôle de pionniers dans les branches du savoir où ils vont s'illustrer ; le plus souvent ils vont parfaire leur éducation à Paris qui reste pour eux le centre scientifique par excellence. On peut citer le géologue André Dumont, auteur de la première carte géologique détaillée de notre pays; le constituant Barthélemy Du Mortier qui trouve le temps de créer la floristique belge, tandis que de Selys Longchamps est son émule en zoologie; le biologiste Pierre-Joseph Van Beneden, l'anthropologiste Schmerling, l'entomologiste Lacordaire, l'astronome Houzeau, ainsi que les chimistes Stas et Louis Henry et le physicien Plateau ; plusieurs savants étrangers illustrent les chaires de nos universités, notamment le mathématicien Catalan et le géologue de La Vallée-Poussin parmi les Français, et parmi les Allemands Schwann, le créateur de la théorie cellulaire et Kékulé, qui invente les formules de structure de la chimie organique.

En même temps, de nouvelles sociétés scientifiques voient le jour notamment la Société d'Entomologie qui vient de fêter son 75e anniversaire, les Sociétés de Malacologie, de Botanique, etc., puis la Société Scientifique de Bruxelles et la Société des Sciences de Liége. Le bulletin de l'Académie concentrait jusque là toute la production scientifique belge ; à l'avenir celle-ci disposera de nombreux périodiques publiés par les sociétés spécialisées. De cette même époque date également le Musée d'Histoire naturelle.

Après 1880 jusqu'à la guerre mondiale, l'histoire de notre évolution scientifique se présente sous un jour un peu différent : malgré le dévouement et le mérite d'un grand nombre de personnalités éminentes, les progrès de la recherche dans notre pays ne sont pas, il faut bien le reconnaître, aussi rapides que dans les pays voisins. Les causes de cet état de choses

étaient multiples. Un demi-siècle d'indépendance avait conduit à une merveilleuse expansion de l'activité des Belges dans le domaine de l'industrie : l'exemple d'Ernest Solvay et de Zénobe Gramme attirait la jeunesse vers le domaine des applications au détriment de celui des sciences pures. L'Afrique séduisait les caractères plus aventureux, tandis que les luttes politiques et sociales intenses d'une part, de l'autre le brillant mouvement littéraire de la Jeune Belgique et l'attrait des Beaux-Arts accaparaient bien des talents.

Au contraire, les conditions de travail réservées aux hommes de science pure devenaient moins favorables : les moyens matériels de recherche n'étaient plus suffisants, le recrutement des membres du haut enseignement était difficile et, comme Stas l'a souligné dans un discours resté célèbre, souvent vicié par l'intrusion de la politique dans un domaine qui devrait lui rester étranger; enfin, le rang social réservé aux chercheurs était trop effacé pour que cette carrière attirât, comme dans d'autres pays, les enfants des classes dirigeantes.

A côté de ces ombres, le tableau présentait cependant des demi-teintes permettant de bien augurer d'une prochaine aurore. Pour la première fois, le chercheur peut recevoir une éducation scientifique complète dans nos universités ; leur armature se complète par la création d'écoles pour l'étude de toutes les branches de l'art de l'ingénieur, de la pharmacie, etc. Pour la première fois, des laboratoires réservés à la recherche proprement dite, sont ouverts aux jeunes docteurs ; pour la première fois il se forme de véritables écoles nationales telles que celles de Van Beneden et Léon Frédéricq à Liége, de Carnoy et Louis Henry à Louvain, de Paul Héger et Léo Errera à Bruxelles, et de Mansion à Gand. Des naturalistes tels que Dupont, Laurent et Cornet entament l'exploration scientifique du Congo ; en Belgique même, le physico-chimiste Spring et le neurologiste Van Gehuchten acquièrent une célébrité méritée, tandis que nos compatriotes Bakeland aux Etats-Unis et Boulenger au British Museum de Londres, représentent brillamment la science belge à l'étranger.

La loi de 1895, en multipliant les doctorats, consacrait un nouveau pas dans la voie de la spécialisation des études, en même temps que les établissements scientifiques de l'Etat prenaient une nouvelle extension par la création du Service géologique, de l'Institut météorologique et du Musée du Congo belge. Le prestige de la science et de la victoire germaniques entraînaient alors nos jeunes chercheurs à visiter les laboratoires allemands, de préférence à ceux de Paris ; mais par une curieuse opposition qui est peut-être un nouvel indice de la tendance séculaire des Belges à assurer leur indépendance intellectuelle et matérielle en maintenant un juste équilibre entre les influences antagonistes de leurs voisins, l'Université de Bruxelles appelait dans son corps professoral un groupe de savants français dont le plus ancien, Dollo, s'illustra à notre Musée d'Histoire naturelle, et qui sont vraiment devenus des nôtres par leur dévouement à leur seconde patrie.

Vint ensuite la guerre, quatre années d'occupation étrangère pendant laquelle la vie intellectuelle du pays parut complètement endormie, tandis qu'au dehors, les intellectuels belges, à l'égard des représentants de toutes

les autres classes sociales, peinaient à l'armée, ou travaillaient pour elle dans les usines ou dans les hôpitaux, à la suite de maîtres tels qu'Antoine Depage et Nolf.

*
* *

Depuis la délivrance, le spectacle des ruines accumulées n'a fait qu'exciter l'ardeur au travail; le relèvement que l'on observe en science n'est pas moins réconfortant que dans les autres domaines de la vie nationale. Songez que le pays a enfin appliqué l'instruction obligatoire, ouvert aux jeunes gens peu fortunés, l'accès de l'enseignement moyen par la création du Fonds des mieux-doués et de l'enseignement supérieur grâce aux bourses de la Fondation Universitaire.

Le haut enseignement a subi d'heureuses et profondes transformations . réforme des programmes d'études par la loi votée l'an dernier ; reconstitution de la bibliothèque de l'Université de Louvain et installation de l'Université de Bruxelles dans de nouveaux locaux plus vastes et mieux équipés, développements rendus possibles grâce notamment à la générosité américaine : intervention pécuniaire importante de l'Etat dans les dépenses des universités libres, qui vient de recevoir sa sanction par un vote récent des Chambres.

Dans le domaine de la recherche proprement dite, après la période difficile des premières années suivant la guerre, l'effort combiné des hommes de science et d'une opinion publique plus clairvoyante a conduit également à des développements nouveaux pleins de promesses: dès 1919, la vie de la plupart de nos sociétés scientifiques avait repris sur un rythme accéléré; il s'en est créé depuis, de nouvelles pour les branches de la science qui n'en comportaient pas jusqu'ici, telles la Société de Mathématiques et la Société de Physique.

Conscientes de leurs intérêts communs et de l'importance de leur rôle dans le développement intellectuel du pays, elles se sont unies en une Fédération des Sociétés belges des Sciences Mathématiques, Physiques, Chimiques, Naturelles, Médicales et Appliquées où sont représentés près de quatre-vingt groupements scientifiques. L'action poursuivie par la Fédération sous l'impulsion énergique de ses présidents successifs, a obtenu des résultats importants, parmi lesquels je me contenterai de citer: la publication avec l'appui de l'Académie royale de Belgique, d'un répertoire des périodiques scientifiques contenus dans les bibliothèques belges, œuvre qui a servi de point de départ à l'entreprise déjà si féconde en réalisations, du Comité permanent des Bibliothèques scientifiques créé par la Fondation Universitaire sous la présidence de M. Pirenne ; la publication prochaine d'un *Guide du Chercheur*; enfin comme témoignage de sa vitalité en cette année où elle fête son dixième anniversaire, la magnifique mobilisation de la science belge dans le Congrès qui s'ouvre aujourd'hui.

Pour couronner l'ensemble des efforts faits en faveur de la science, il nous reste à rappeler la création du Fonds national de la Recherche scientifique : cette œuvre est d'une importance qu'on ne pourrait exa-

gérer. En lançant son appel de 1927, le Roi a rendu au pays un nouveau service dont la portée, pour être peu sensible aux foules, n'en sera sans doute pas moins fondamentale pour l'avenir : le développement de la science pure constitue en effet le point de départ des applications techniques qui transforment et améliorent chaque année d'une manière prodigieuse les conditions de la vie de tous nos concitoyens jusqu'aux plus humbles. Tous les hommes de science de notre pays, mieux à même que quiconque d'apprécier la valeur de ce geste, remercient profondément de ce qu'ils ont fait pour la recherche scientifique, le Roi et la Reine et tous ceux qui ont contribué à la création du Fonds national de la Recherche scientifique en suivant l'exemple généreux de MM. Francqui et Armand Solvay.

*
* *

Si la revue rapide que nous venons de faire du mouvement scientifique du pays nous amène à des conclusions réconfortantes, il ne faudrait pas croire cependant que plus rien ne reste à faire dans ce domaine.

Au point de vue matériel, nos laboratoires commencent à être suffisamment pourvus, mais un effort soutenu est indispensable si nous ne voulons pas nous laisser de nouveau distancer rapidement par nos émules de l'étranger. Il est nécessaire également d'encourager le mécénat en dégrevant très largement les dons et legs faits à des institutions ou à des sociétés dont le but exclusif est le développement de la science.

Cependant, le facteur le plus important pour le développement scientifique du pays n'est pas d'ordre financier mais d'ordre moral. Trop longtemps notre opinion publique, mal éclairée, a considéré les hommes de science comme de simples originaux consacrant leur vie à une manie inoffensive. Notre illustre compatriote, l'astronome Houzeau dans un ouvrage justement admiré, a écrit : « L'étude de la nature renferme en elle-même un tel attrait qu'il est suffisant pour soutenir — chez ceux qui s'y livrent — les aspirations et le courage. » Le pays ne doit donc pas craindre de jamais manquer d'hommes de premier plan dans le domaine scientifique. Mais ces chefs de file seraient handicapés s'ils n'étaient aidés dans leur œuvre par de nombreux collaborateurs et le pays ne trouvera ces derniers que si leur zèle est soutenu par la sympathie agissante de l'opinion publique.

On doit donc souhaiter que, grâce au développement des lumières par l'action de l'école et par celle de la presse, dont le rôle dans ce domaine peut être si bienfaisant, et suivant l'exemple qui lui est donné de haut par nos Souverains et par l'élite de nos classes éclairées, la masse de notre peuple se rende compte enfin du rôle fondamental de la science dans nos sociétés contemporaines. Le Congrès qui s'ouvre aujourd'hui aura déjà obtenu un résultat très important s'il met cette vérité en évidence à tous les yeux et s'il fait comprendre l'importance de l'esprit scientifique pour le développement d'une culture autonome, qui constituera l'un des plus sûrs garants de l'Union nationale et de notre Indépendance économique et politique.

Conférence de M. le Docteur J. Bordet, Président d'Honneur

La Variabilité des Espèces microbiennes et ses Facteurs

Chacun le sait, une notion dominante en Biologie est celle de l'autonomie et de la stabilité des espèces. Les espèces sont fixes, elles se perpétuent en gardant durant d'incommensurables périodes leurs caractères propres. Et cependant on ne peut affirmer qu'elles soient absolument immuables, puisqu'on peut trouver, au sein d'une même espèce, des types plus ou moins dissemblables. Des races peuvent se constituer, parfois si nettement distinctes qu'il est difficile de décider si elles représentent de simples variétés ou s'il faut les considérer comme des espèces foncièrement différentes.

Autrefois, pour reconnaître les espèces, on se fondait essentiellement sur des caractères extérieurs, l'aspect, la conformation, et c'est également d'après ces indices anatomiques que l'on pouvait, dans le cadre d'une même espèce, discerner des types plus ou moins différents. Comme les êtres vivants ne sont en somme que des agrégats de substances chimiques, il n'était pas interdit de penser que les espèces doivent sans doute leur autonomie précisément au fait qu'au point de vue chimique elles ne sont pas identiques, qu'il existe entre elles des différences probablement fort délicates et subtiles dans la composition ou la structure de certains de leurs constituants, notamment de ces substances d'architecture moléculaire si compliquée qui forment en bonne partie la matière vivante, les albuminoïdes, peut-être aussi de ces matières également fort complexes dont la signification physiologique est sûrement très grande, les lipoïdes.

La structure intime de toutes ces substances est encore enveloppée d'obscurité, et l'on conçoit que si l'on n'avait pu recourir qu'aux méthodes habituelles de la chimie, il eût été quasi impossible de déceler des différences appréciables entre des matières identiques à cela près qu'elles proviennent d'espèces différentes. Il était réservé à l'Immunité, cette science dont l'objet est l'étude du conflit qui s'engage entre les microbes parasites et les forces défensives de l'organisme, d'apporter à ce propos des notions décisives. Elle découvrit en effet le fait capital de la spécificité des immun-sérums, c'est-à-dire du sérum des animaux immunisés. Lorsqu'on injecte à un animal un microbe déterminé, tel le bacille typhique, l'organisme élabore bientôt des principes actifs, les anticorps, qui se retrouvent dans le sérum, et n'impressionnent que l'espèce microbienne injectée. De tels anticorps peuvent imprimer aux microbes auxquels ils correspondent, diverses modifications, dont la plus facile à constater est l'agglutination. Sous l'influence d'une trace du sérum spécifique, les bacilles typhiques par exemple s'immobilisent et se réunissent en flocons. On découvrit ensuite que l'animal réagit d'une façon analogue lorsqu'on lui injecte non pas des microbes, mais des cellules ou des humeurs provenant d'espèces différentes. Par exemple, un lapin injecté de sang humain fournit bientôt un sérum qui agglutine et même détruit les globules rouges de l'homme, et qui pré-

cipite en flocons les albuminoïdes du sérum humain. Chacun sait que la spécificité d'un tel sérum permet aux médecins-légistes, lorsqu'on trouve des taches de sang sur les vêtements d'un prévenu, de rechercher si ce sang est vraiment du sang humain.

La spécificité de tels sérums d'animaux injectés de matériaux de provenance étrangère démontre donc que les espèces vivantes sont chimiquement différentes, puisque tel immunsérum ne réagit que sur les cellules ou les substances provenant de telle espèce. Ce fait étant solidement établi, on peut aller plus loin, et montrer que des différences d'ordre chimique peuvent exister entre les individus appartenant à une même espèce. Voici comment on fut conduit à cette constatation. Lorsqu'on découvrit les anticorps spécifiques, on tenta naturellement bientôt de préciser le mécanisme de leur apparition. Les expériences instituées dans ce but comportaient la confrontation de l'immunsérum et du « sérum normal » c'est-à-dire la comparaison du sérum des animaux immunisés et du sérum d'animaux identiques sauf qu'ils n'ont subi aucune immunisation. On s'aperçut ainsi que très souvent les propriétés qui caractérisent l'immunsérum existent déjà, mais à un degré considérablement moindre, à l'état rudimentaire si l'on veut, dans le sérum de l'animal normal (sérum neuf). Par exemple, s'il est vrai que le sérum d'un cheval qui a été injecté de bacilles typhiques, agglutine violemment et à dose extrêmement faible, une suspension de bacilles typhiques, on trouve qu'à forte dose le sérum d'un cheval normal agglutine assez médiocrement, mais visiblement, cette même suspension. Il agglutine d'ailleurs aussi dans une certaine mesure, les globules rouges de diverses espèces. Le sérum de l'homme jouit de propriétés analogues. Mais, chose remarquable, on constate que le sérum d'homme agglutine visiblement aussi les globules d'autres hommes ou tout au moins les globules de certaines personnes, ce qui démontre que tous les individus de notre espèce ne sont pas complètement semblables en ce qui concerne la constitution chimique des globules rouges et du liquide sanguin. Certains sujets se ressemblent beaucoup à cet égard, d'autres se différencient nettement. On a pu établir qu'à ce point de vue les hommes se répartissent en quatre groupes principaux et bien distincts, entre lesquels existent à vrai dire certaines transitions. On saisit l'importance de cette notion à propos de la transfusion du sang. Pour que cette opération n'entraîne pas d'accidents, il faut que la personne qui donne le sang, et celle qui le reçoit, se ressemblent beaucoup par les caractères sanguins, c'est-à-dire appartiennent au même groupe. S'il n'en était pas ainsi, les globules du donneur, introduits dans la circulation du récepteur, pourraient être agglutinés par le liquide sanguin de celui-ci, et l'on observerait de graves symptômes résultant notamment de l'obstruction des petits vaisseaux par les globules réunis en amas. Il est donc essentiel que le donneur et le récepteur soient, si l'on peut ainsi dire, chimiquement compatibles. D'autre part, on a recherché comment les quatre groupes se distribuent dans les populations des différents pays. On a pu démontrer en outre que les caractères sanguins sont transmissibles à la postérité, qu'ils obéissent aux lois de l'hérédité dites

de Mendel. Il est superflu de souligner la grande signification de ce fait pour la biologie générale. Pour la première fois, il était acquis désormais que dans le cadre d'une même espèce, des particularités héréditaires distinguant les lignées peuvent se dénoncer par une réaction d'ordre chimique et très facilement observable. Et il est légitime de présumer que ce qui est vrai de notre sang l'est aussi d'autres éléments de notre organisme, et qu'ainsi s'explique, par un concept purement chimique, la diversité de nos tempéraments physiques, et sans doute aussi de nos dispositions intellectuelles et morales. L'espèce humaine est visiblement hétérogène. Quels sont les déterminants de cette variabilité ? Chercher à modifier expérimentalement les espèces animales les plus élevées serait naturellement illusoire, mais on peut se demander si on ne recueillerait pas des documents intéressants en opérant dans cet ordre d'idées sur les êtres inférieurs, notamment les microbes.

Il semble à priori que les bactéries doivent être spécialement aptes à manifester les phénomènes de variabilité. En effet, les générations microbiennes se succédant très rapidement, il est à supposer que la variabilité pourra accumuler ses effets en un laps de temps très court. Sans doute se trahira-t-elle plus aisément, ce qui ne veut pas nécessairement dire que nous en comprendrons sans peine le déterminisme profond. N'oublions pas que la vie, avec l'ensemble de ses attributs, est partout de même essence, qu'elle est infiniment complexe et mystérieuse aussi bien chez les êtres inférieurs que chez les espèces les plus élevées. Et remarquons en outre que les bactéries réalisent ce prodige de condenser, sous un volume extrêmement réduit, toutes les fonctions, toutes les caractéristiques vitales. Quand on les étudie, on n'a pas la ressource de s'attarder à la description d'organes spécialisés, on se sent immédiatement acculé au problème fondamental de la vie. L'apparente simplicité de ces êtres n'éclaircit pas l'énigme ; elle ne peut que la rendre encore plus troublante et redoutable.

Quoi qu'il en soit, il y a longtemps qu'on a signalé chez les bactéries des faits patents de variabilité, et il n'est pas sans intérêt de rappeler brièvement l'évolution de nos connaissances à ce propos.

Lorsque les savants commencèrent à explorer le monde des êtres microscopiques, ils éprouvèrent tout d'abord une impression quelque peu chaotique. Ils distinguaient des bacilles, des cocci, des vibrions, mais aussi des formes intermédiaires, ces aspects ne semblaient d'ailleurs pas être bien constants, de telle sorte qu'au début plusieurs observateurs, Naegeli notamment, crurent qu'un pléomorphisme excessif était la règle, que les espèces microbiennes devaient en somme être très peu nombreuses, et qu'une même espèce était capable, selon les circonstances, de revêtir les aspects les plus variés. Mais bientôt, grâce à Pasteur pour les germes des fermentations, à Pasteur et à Koch pour les microbes pathogènes, la vérité se fit jour, la notion d'espèces tranchées, bien distinctes et stables, apparut clairement. Notamment, on sait qu'un microbe pathogène ne se transforme jamais en une autre espèce virulente. En effet, la contagion reproduit toujours la même maladie. On comprit néanmoins que les espèces micro-

biennes ne se comportent pas comme des cristaux figés dans une absolue immuabilité de formes et d'aspect. Pasteur, qui avait si nettement proclamé le principe de la spécificité microbienne mais qui eut toutes les intuitions, reconnut que le dogme de la constance spécifique n'exclut cependant pas une certaine hétérogénéité parmi les représentants d'une même espèce. Toutes les cellules qui composent une culture pure de levure ne sont pas absolument identiques les unes aux autres, leurs propriétés sont certes très analogues mais peuvent se manifester à des degrés ou sous des modalités quelque peu différentes, d'où la pratique du sélectionnement des levures.

De leur côté, les spécialistes de l'infection et de l'immunité constatèrent bientôt qu'au sein d'une culture pure d'un microbe pathogène, tous les individus ne s'équivalent pas. Lorsqu'on injecte une dose un peu forte de vibrions cholériques dans le péritoine d'un cobaye, ces germes ne se comportent pas tous exactement de même. Un grand nombre d'entre eux sont rapidement détruits par les principes bactéricides ou englobés par les phagocytes. Mais si, au bout de deux ou trois heures, on trouve dans l'exsudat quelques microbes animés de mouvements très rapides, le pronostic est fâcheux, l'animal est très menacé. Ces individus, spécialement vigoureux, parviennent, en raison de leur vélocité même, à échapper aux phagocytes, ils se multiplient sans entraves et envahisent l'organisme. On a montré qu'un streptocoque très pathogène doit essentiellement sa virulence au fait que certains individus, mais non tous, s'entourent dans les humeurs organiques d'une sorte de gaine protectrice; les germes ainsi encapsulés ne sont pas phagocytables et se reproduisent librement en donnant une postérité qui présente la même particularité et qui tue l'animal.

La bactériologie dispose de techniques qui permettent de procéder à l'inventaire d'une culture, c'est-à-dire de séparer les individus microbiens qui la peuplent, et de les ensemencer isolément sur de nouveaux milieux nutritifs, de façon à obtenir une série de cultures filles dont chacune dérive d'un seul ancêtre. Etudiant ainsi comparativement leurs descendances, on peut rechercher si les germes qui vivaient côte à côte dans la culture originelle ne se distinguaient pas les uns des autres par quelque caractère susceptible de se transmettre à leur postérité.

Appliquant cette technique à des microbes pathogènes, tels ceux qui provoquent le charbon ou la septicémie des lapins, on constate que les germes peuplant une même culture peuvent donner respectivement des descendances inégalement virulentes. D'autres espèces produisent des couleurs ; or, d'une même culture, on peut isoler des individus dont les postérités ne manifestent pas cette propriété avec la même intensité. L'étude des aptitudes fermentatives conduit à des conclusions analogues. Dans une culture qui normalement est incapable de faire fermenter le lactose, apparaissent parfois des germes aberrants investis de ce pouvoir et qui le transmettent à leur descendance.

Je rappelais plus haut que les immunsérums représentent des réactifs très délicats pour le diagnostic des espèces tant animales que microbiennes. Mais on doit se demander à ce propos si une espèce microbienne donnée

conserve immuablement, lorsqu'on l'entretient au laboratoire, l'aptitude à réagir typiquement avec l'immunsérum qui lui correspondait. Soumise à certaines influences, la culture ne se modifierait-t-elle pas au point de n'être plus sensible à l'action spécifique d'un tel sérum ? On se posa tout d'abord cette question au cours d'études relatives au microbe de la coqueluche, germe de très petite taille qui pullule en très grande abondance à la surface des bronches de l'enfant coquelucheux, surtout au moment des premières quintes caractéristiques, et dont les premières cultures sur milieux nutritifs artificiels sont difficiles à obtenir. Après quelques repiquages, le développement devient plus luxuriant. On obtient des cultures prospères sur un milieu constitué essentiellement de sang. Toutefois, le microbe peut s'adapter, quoique péniblement, à vivre sur un milieu à base de bouillon, et non additionné de sang. Ce point étant acquis, repiquons systématiquement le microbe, d'une part sur milieu riche en sang, d'autre part sur milieu au bouillon. Nous disposons ainsi de deux souches provenant toutes deux de la même culture originelle, mais qui sont soumises à des conditions alimentaires différentes. Or, si l'on injecte respectivement les deux souches à deux lapins, ces animaux fournissent deux sérums qui ne sont pas identiques. Le sérum du lapin inoculé de la culture sur sang agglutine les germes coquelucheux développés sur ce même milieu, sans produire cet effet sur les microbes cultivés sur bouillon. Vice-versa, l'autre sérum agglutine le microbe obtenu sur bouillon, et non le microbe venant du milieu au sang. Ceci démontre que la diversité des conditions alimentaires a scindé l'espèce primitive en deux races que le sérodiagnostic distingue. A vrai dire, si le séjour sur bouillon n'a pas duré très longtemps, la souche qui s'est adaptée à ce milieu peut reprendre, lorsqu'on lui restitue le milieu au sang, les caractères de la race constamment maintenue sur ce dernier substrat. On peut estimer cependant que les deux races sont nettement distinctes, car, dans le règne animal, le sérodiagnostic, si délicat qu'il soit, ne distingue que fort péniblement les espèces très proches parentes. Ainsi le sérum d'un lapin injecté de sang de cheval réagit nettement avec le sang d'âne. Semblablement, le sérum de lapin injecté de sang d'homme n'agit pas exclusivement sur le sang d'homme ; il impressionne aussi celui des singes supérieurs, notamment du chimpanzé. Par conséquent, les immunsérums accusent une différence plus marquée entre les deux races de bacilles coquelucheux qu'entre l'homme et le chimpanzé.

Soit dit en passant, on conçoit qu'il y a lieu de tenir compte de la variabilité microbienne lorsqu'on prépare des vaccins en vue de prévenir ou de traiter les affections microbiennes. En effet, l'injection de vaccin a pour but de solliciter l'organisme à élaborer des anticorps capables de réagir sur les germes morbides présents dans l'organisme et de les rendre ainsi moins dangereux. Ces vaccins sont souvent de simples suspensions de microbes tués. C'est le cas par exemple du vaccin anticoquelucheux qui injecté à titre thérapeutique est considéré par les médecins d'enfants comme favorisant et hâtant beaucoup la guérison. Or, il importe naturellement que les microbes tués constituant le vaccin se rapprochent suffisamment, au

point de vue chimique, du microbe virulent, pour que les anticorps dont ils provoquent l'apparition soient étroitement appropriés à ce dernier. Dans cet ordre d'idées, le procédé employé pour tuer les microbes n'est pas indifférent. Notamment, les bacilles coquelucheux tués par le chauffage, qui les altère trop profondément, ne constituent pas un vaccin aussi efficace que ces mêmes bacilles tués par le phénol à faible concentration.

Dans le cas du microbe de la coqueluche, la modification que le sérodiagnostic décèle résultait d'un changement dans la composition du milieu alimentaire, celui-ci consistant d'une part en sang, d'autre part en bouillon. Mais des recherches ultérieures montrèrent que les microbes peuvent présenter des variations très analogues même si on ne change pas leurs aliments, si on les cultive toujours dans le même milieu. Ce fait apparaît avec une netteté particulière notamment chez les espèces du groupe coli-typhique. D'une seule et même culture, constamment entretenue sur bouillon par exemple, on a pu retirer deux types de germes qui, cultivés séparément et injectés aux animaux, permettent l'obtention d'immunsérums différents appropriés respectivement à chacun d'eux. Ceci semble indiquer que chez les microbes la tendance à la variabilité est spontanée, foncièrement inhérente à la vie, capable de se manifester en l'absence d'influences extérieures appréciables.

Nous touchons ainsi à une question fondamentale, celle du mécanisme grâce auquel les variations s'effectuent. Dans les expériences, la variation apparaît très souvent comme l'expression d'une réaction de l'être vivant contre une influence extérieure. Or, en pareil cas, deux mécanismes à priori sont possibles. On peut concevoir une adaptation ou accommodation véritable, une appropriation individuelle comportant un effort. Ou bien l'on peut penser qu'il s'agit simplement d'une sélection assurant désormais la prédominance des individus qui, en raison de certaines particularités, étaient le mieux capables de tolérer l'influence mise en jeu ; c'est la survivance des plus aptes. Supposons que la peste s'attaque à une collectivité de cent individus, dont quatre-vingts succombent, tandis que vingt guérissent. Ceux-ci sûrement ont accompli un effort personnel d'accommodation auquel ils doivent leur salut. Etudions en effet leur sérum, nous y trouvons des anticorps préservateurs que leur sang ne renfermait pas avant la maladie. Mais s'ils ont pu développer d'une façon spécialement efficace cette réaction protectrice, c'est qu'ils disposaient dès l'origine de certaines potentialités, de certaines aptitudes que les autres malades, ceux qui ont succombé, ne possédaient pas au même degré. Avant même que la peste n'eût fait son apparition, les personnes qu'elle menaçait étaient prédestinées déjà à guérir ou à succomber ; elles étaient déjà inégalement dotées, la maladie qui survient révèle entre elles des différences sans les créer à proprement parler. C'est à des conclusions analogues que conduit l'étude de l'adaptation des microbes à des influences nuisibles, notamment aux antiseptiques. On a pu démontrer que les divers germes présents dans une même culture résistent inégalement aux poisons ; au surplus, un fait analogue s'observe pour ce qui concerne le chauffage. Si l'on introduit dans la culture une dose conve-

nable d'antiseptique, seuls certains individus survivront et pourront se reproduire. Ils fourniront ainsi une postérité qui se comportera comme si elle s'était véritablement adaptée au poison. Une sélection s'est opérée, et dans ce cas encore, nous pouvons conclure que les différences entre les germes étaient préexistantes. Il apparaît ainsi que la variabilité est vraiment un attribut foncier de l'être vivant, une de ses caractéristiques primordiales. Si donc nous ensemençons un milieu de culture, ne fût-ce que d'un seul germe, nous devons prévoir que la postérité de celui-ci cessera bientôt d'être homogène, et il n'est pas irrationnel de présumer que ces variations doivent dépendre de facteurs matériels immédiats, qu'elles résultent de l'intervention de l'une ou de l'autre des substances nutritives présentes dans le milieu de culture. Nous pouvons ainsi nous demander si parmi les matières que nous mettons à la disposition des microbes pour les alimenter, il ne s'en trouverait pas qui soient capables de jouer, dans le déterminisme des variations, un rôle prédominant. Nous allons voir qu'on peut donner à cette question une réponse affirmative, en ce sens qu'un élément minéral, le calcium, exerce une influence très nette sur l'évolution d'une espèce microbienne, le microbe du charbon.

Il convient de remarquer tout d'abord que le microbe du charbon est nettement susceptible de variabilité, notamment au point de vue morphologique. Dans les conditions normales et sous sa forme typique, c'est-à-dire lorsqu'on vient de l'obtenir par ensemencement de sang d'un animal mort de charbon, ce microbe, cultivé sur la surface de bouillon solidifié par la gélose, se présente en bâtonnets isolés ou associés en courts filaments, et qui au bout d'un jour ou deux subissent la sporulation. Chacun sait que les spores sont des formes de résistance, des espèces de petites graines où la vie est latente mais peut se conserver pendant un temps fort prolongé. Bientôt la couche microbienne grisâtre qui s'est développée s'amincit en devenant opaque et blanchâtre, le microscope n'y découvre plus que des spores mêlées à des débris de bâtonnets. Mais, chose curieuse, si on abandonne longtemps une telle culture à elle-même, on peut constater qu'après un temps variable la végétation reprend en certains points de la surface. Des élevures disséminées apparaissent sous forme de boutons saillants où l'on trouve de nouveaux bâtonnets ; nous reviendrons sur ce fait dans un instant.

Disposant d'une culture bien typique, capable de sporuler abondamment comme il vient d'être dit, entretenons-la pendant un temps assez long, en la repiquant à certains intervalles. Puis, à un moment donné, procédons à l'inventaire des germes, c'est-à-dire séparons-les et cultivons-les isolément. Dans ces conditions on trouve que la culture, composée au début de germes semblables et tous capables de donner des spores, est maintenant hétérogène. Une race nouvelle est apparue, qui par son aspect s'écarte nettement du type primitif. Tandis que celui-ci, au bout de deux ou trois jours, ne montre plus guère que des spores, le type nouveau se maintient sous forme de longs filaments composés d'articles placés bout à bout. Ces filaments, qui se juxtaposent comme des cheveux dans une tresse, ne forment

pas de spores. Lorsque l'évolution conduisant à l'apparition de ce type s'est achevée, on se trouve désormais en présence d'une race stable, en longs filaments, qui a perdu complètement le pouvoir sporogène, et qui en conséquence est beaucoup plus sensible au chauffage que le type primitif. Chose remarquable, cette race asporogène se distingue aussi par sa faible virulence ; elle est quasi inoffensive, tandis que le germe sporogène primitif est toujours très dangereux.

On peut aisément établir que la mutation en question s'accomplit essentiellement au niveau de ces colonies saillantes ci-dessus signalées et qui apparaissent tardivement à la surface des cultures de charbon sporogène sur gélose. C'est dans ces colonies en effet qu'on trouve tout d'abord le type asporogène.

Les milieux de culture sur lesquels cette modification du microbe charbonneux s'effectue, notamment la gélose ordinaire, contiennent un peu de calcium. Il est facile d'éliminer ce métal, grâce à l'énergique action précipitante des oxalates alcalins, que l'on peut impunément introduire dans les milieux nutritifs, car ils ne sont aucunement préjudiciables à la vitalité et au développement des microbes. Ajoutons donc au bouillon gélosé employé pour la culture du charbon, 1 ou 2 pour mille d'oxalate neutre de soude. Le charbon sporogène ensemencé sur un tel milieu décalcifié y prospère parfaitement. Après quelques jours, on trouve que la sporulation s'est complètement effectuée. Mais on ne constate pas le fait auquel il vient d'être fait allusion, à savoir la production tardive de colonies saillantes qui trahissent une reprise de la végétation. Sur milieu oxalaté, la culture qui a sporulé est désormais incapable d'évoluer, elle est figée, vouée à l'immuabilité. Repiquée même à de nombreuses reprises sur de nouveaux milieux également oxalatés, une telle culture, soumise à la technique de l'isolement des germes, ne fournit pas la race filamenteuse asporogène. Elle ne se modifie pas davantage quant à sa virulence et garde intégralement son redoutable pouvoir pathogène. Le calcium, facteur de modification de la culture dans le sens de l'apparition de la race asporogène, est également un facteur d'atténuation. Par conséquent, si l'on veut qu'une souche de charbon conserve entièrement sa virulence originelle comme son aptitude à sporuler, il est tout indiqué de l'entretenir sur milieu oxalaté.

Chose remarquable, si l'influence du calcium s'est fait sentir pendant un temps suffisant, la race asporogène dont elle a déterminé l'apparition se montre désormais bien stable, et garde ses caractères propres même si dans la suite on la cultive sur gélose oxalatée. Mais si le séjour sur milieu calcifié a été bref, si l'évolution vers le type asporogène ne s'est pas complètement accomplie, on observe un retour en arrière dès qu'on retransplante sur milieu oxalaté : le type sporogène normal reparaît.

Evidemment, la question se pose de savoir si d'autres espèces microbiennes dénonceraient aussi nettement l'influence des sels calciques. Or, certaines espèces se comportent très différemment selon qu'elles rencontrent du calcium ou bien en sont privées. On trouve par exemple des microbes

qui sur les milieux usuels contenant du calcium ne font pas de spores, mais qui en produisent dès qu'on les ensemence sur milieu oxalaté. On rencontre aussi des bactéries dont la morphologie en présence de calcium est tellement différente de celle qu'on observe sur milieu oxalaté, que si l'on n'était pas prévenu, on affirmerait sans hésiter qu'il s'agit d'espèces absolument distinctes. Par conséquent, il convient de tenir compte de la teneur en calcium des milieux nutritifs lorsqu'on procède à la diagnose des microbes et à leur classification en espèces.

Comment le calcium agit-il ? C'est un problème difficile à résoudre, mais qui pourtant semble être en connexion, par un lien à vrai dire encore assez ténu, assez lâche, avec une autre question très discutée à l'heure actuelle, et sur laquelle on ne pourrait insister longuement ici, celle du bactériophage ou principe actif de la lyse microbienne transmissible. On a trouvé que dans certaines circonstances divers microbes sont aptes à subir une très profonde et très curieuse altération. Ils se détruisent en se réduisant à d'imperceptibles débris. Si l'on filtre à travers une bougie de porcelaine une suspension microbienne où ce phénomène s'est accompli, on trouve que le filtrat contient le principe actif. Si l'on introduit ne fût-ce qu'une trace quasi impondérable d'un tel filtrat dans du bouillon que l'on ensemence ensuite des bactéries sensibles, on constate que celles-ci se multiplient pendant un certain temps, puis brusquement se détruisent, semblent se dissoudre, subissent en un mot la lyse caractéristique. Il semble qu'une viciation profonde de leur physiologie les a condamnées à périr à un moment donné. Sans entrer dans la discussion des théories proposées pour rendre compte de ce singulier phénomène, bornons-nous à signaler un fait qui semble dominer le débat et qui est le suivant: Etant donnée une culture d'une certaine espèce, soit de staphylocoque, soit de bacille coli, séparons les individus microbiens qui la peuplent, et cultivons-les séparément. Nous avons ainsi une série de cultures filles, A, B, C, D, etc., que nous pouvons filtrer et dont les filtrats peuvent être mis en contact avec l'un ou l'autre de ces germes. Par exemple, nous pouvons éprouver le filtrat de A sur les germes B, C ou D, le filtrat de B sur les germes A, C ou D, et ainsi de suite. Or, on trouve que le filtrat de certaines de ces cultures, de A par exemple, introduit dans du bouillon qu'on ensemence ensuite de l'un des autres germes, de C par exemple, provoque la lyse de celui-ci. On peut donc conclure que dans la culture primitive d'où l'on a extrait les divers germes, existaient des types microbiens divers que la technique de l'isolement a séparés, et dont certains manifestent un pouvoir d'attaque, une qualité agressive, vis-à-vis de certains autres, ceux-ci se comportant donc comme réceptifs. En conséquence, tout se passe comme si, dans le cadre d'une même espèce, pouvaient surgir, à la faveur de la variabilité, des types suffisamment différents pour manifester un véritable antagonisme, l'arme dont les variétés agressives se servent étant précisément un principe lytique capable d'impressionner les variétés sensibles. A vrai dire, il arrive souvent que des germes réceptifs, subissant tout d'abord une lyse appréciable, par-

viennent ensuite à s'adapter. Mais cette adaptation comporte naturellement une modification du germe, celle-ci se trahissant, au moins dans certains cas (b. coli), par un changement visible de la morphologie. On conçoit ainsi les curieuses répercussions de cette lutte entre les germes. C'est la variabilité qui crée des germes différents, qui corrélativement donne lieu au phénomène lytique, mais celui-ci à son tour déclenche une variation, puisque les germes réceptifs font preuve d'adaptation au principe lytique et corrélativement se modifient. En somme, les principes lytiques représentent des agents capables d'intervenir dans l'évolution des espèces microbiennes. Or, dans de nombreux cas, on constate que le principe lytique n'agit aucunement en présence d'oxalate. A vrai dire, ce fait n'est pas absolument général, il est certains principes que l'oxalate ne paralyse pas. Cependant, on a des raisons de penser que même ces principes ont besoin, pour agir, de calcium, mais qu'ils n'en exigent que des traces extrêmement faibles, échappant à l'action précipitante de l'oxalate, tandis que la plupart des principes réclament une concentration calcique plus élevée. Ainsi s'esquisse une relation assurément suggestive entre les faits de variabilité déclenchée par le calcium et le rôle de ce même agent dans l'influence modificatrice des principes lytiques. On est conduit à soupçonner que le calcium agit sur la variabilité de l'espèce par l'intermédiaire de ces principes.

Chez certaines espèces, tel le bacille pyocyanique, l'antagonisme entre les divers germes au sein d'une même culture est si prononcé que des phénomènes lytiques fort évidents se déroulent, même si l'on ne prend pas la précaution d'isoler, pour les mettre ensuite en présence, les types qui se révèlent les plus sensibles et ceux qui se montrent agressifs de la façon la plus caractérisée. La surface d'une gélose nutritive ensemencée de bacille pyocyanique montre bientôt des taches de lyse très apparentes. A ce niveau, le conflit entre les germes prend un caractère aigu, beaucoup d'entre eux sont lysés. On peut démontrer au surplus que ce conflit aboutit à la prédominance d'un type microbien particulier. En effet, si, ayant prélevé des microbes aux endroits précisément où la lyse se manifeste, on les reporte dans un nouveau milieu nutritif, on obtient une variété différente de la culture originelle et que l'on reconnaît facilement. On saisit ainsi sur le vif cette lutte qui s'engage entre types microbiens divers et que les phénomènes lytiques dénoncent.

Assurément, nous ne percevons encore que l'aspect extérieur des choses ; le déterminisme des réactions mutuelles entre individus peuplant une même culture ne nous apparaît pas encore dans son intimité. Les phénomènes vitaux s'entourent d'une obscurité profonde, les biologistes acceptent avec résignation l'idée que leur science ne saurait progresser que lentement. Mais ils sont soutenus par la conviction que la vie est une, et que toute lueur projetée sur les êtres même les plus simples est susceptible de contribuer à la solution du problème général du mode de fonctionnement de la matière vivante.

Discours de M. H. Jaspar, Premier Ministre.

M. Jaspar termine la séance par un discours, très écouté : « Si j'étais sage, dit-il, je me tairais et vous laisserais sous l'influence et le charme de la précieuse leçon que vous venez d'entendre. Mais je ne suis pas sage et surtout j'ai un devoir à remplir ici.

» J'ai éprouvé une grande joie lorsque le Congrès m'a demandé d'inaugurer ses travaux. Ce n'est pas à ma personne que s'adressait cet hommage ; mais il me plaisait de voir nos savants se placer sous l'égide du Gouvernement afin que, par ma personne, ce fût la Nation toute entière qui assistât et présidât à leurs travaux.

» J'écoutais tout à l'heure M. le professeur Timmermans faire l'histoire de la participation belge au développement de la science humaine. J'en ai ressenti beaucoup de fierté et un peu de crainte. De la fierté pour le magnifique labeur dépensé par notre Pays ; de la crainte que nous ne soyons pas à la hauteur de nos anciens et aussi de voir suivre avec trop peu d'activité la formation des élites de notre pays. »

Reprenant une page de Taine, l'orateur rappelle que « l'homme, selon le philosophe français, ne se distingue des animaux que par l'intelligence, les arts et les sciences. C'est pour l'avoir compris au sortir de nos détresses, qu'après que le pays eût rebâti péniblement sa maison, Notre Souverain a ajouté une gloire impérissable à toutes celles qui l'auréolaient déjà, en créant le Fonds National de la Recherche Scientifique.

» Nous vivons des temps difficiles, mais rien n'arme mieux que la souffrance et que les difficultés. Ce sont ces difficultés qui rendent forte notre jeunesse et créent chez nous une génération d'esprits puissants.

» Certes, certains s'égareront dans des jouissances matérielles, mais il suffit que quelques éléments s'élèvent vers les régions supérieures dont parle Taine, pour que la souffrance où ils ont puisé leur force, s'avère génératrice d'énergie. »

En terminant, M. le Premier Ministre exprime sa satisfaction de la solidarité qui s'est établie entre les Universités belges ; le Gouvernement qui ne sentirait pas, qu'une fois l'œuvre de relèvement matériel accompli, son principal effort doit être d'aider la science, d'aider à l'éclosion d'une race qui soit faite de ces héros dont parle Carlyle, ferait mieux de disparaître.

C'est dans ces sentiments qu'il déclare ouvert le Congrès National des Sciences.

Après la cérémonie, LL. MM. le Roi et la Reine se font présenter MM. les Délégués étrangers ainsi que des personnalités scientifiques belges.

Séances du congrès. — Excursions. — Réceptions

Dimanche 29 juin

L'après-midi, diverses sections ont commencé leurs travaux dans les locaux du Palais des Académies.

Lundi 30 juin

Travaux de sections dans les locaux du Palais des Académies, de la Fondation Universitaire et du Palais du Cinquantenaire, le matin et l'après-midi.

A 16 heures, visite guidée de l'Aquarium, sous la direction de MM. Willems et Lameere; (visite organisée par la section de Zoologie).

A 16 heures, visite de l'Exposition du Souvenir de 1830, au Palais d'Egmont, par les dames accompagnant les Congressistes.

A 21 heures, une brillant raout, offert par l'Administration de la Ville de Bruxelles, dans les salons de l'Hôtel de Ville, obtient le plus vif succès.

Mardi 1er juillet

Travaux de Sections, matin et après-midi.

A 10 heures, visite guidée du Jardin Jean Massart à Auderghem, sous la direction de M. Conard, (visite organisée par la section de Botanique) ; de 13 à 20 heures, excursion botanique en autocar dans la région de Nivelles, sous la direction de M. Hauman.

A 14 heures, visite guidée des Musées Royaux d'Archéologie et de Préhistoire, sous la direction de MM. de Loë et Rahir, aidés de Mlle Leclercq (visite organisée par la section d'Anthropologie).

A 15 h. 30, visite guidée par M. Schouteden, Directeur du Musée Colonial de Tervueren et Mme Schouteden ; thé offert aux dames.

Mercredi 2 juillet

Travaux de Sections, le matin.

Séance de clôture

La réunion s'est tenue à 16 heures, le 2 juillet, dans la grande salle du Palais des Académies.

En ouvrant la séance, M. J. Timmermans, Président, se félicite de voir une assemblée aussi nombreuse assister à la clôture du Congrès et témoigner ainsi de l'intérêt qu'a suscité ce dernier dans le monde scientifique belge.

M. le Président adresse ensuite, au nom du Comité exécutif, ses remerciements les plus chaleureux à tous ceux qui ont contribué à l'organisation du Congrès et à sa réussite.

Il exprime tout particulièrement la gratitude des congressistes au promoteur de cette manifestation scientifique, M. P. Pelseneer, Secrétaire perpétuel de l'Académie Royale.

« M. Pelseneer, continue-t-il, fut toujours pour nous un conseiller particulièrement averti et le succès qui a couronné la réalisation de son projet a dû réjouir son auteur ; nous lui devons aussi l'hospitalité dans les locaux du Palais des Académies ; nos remerciements à ce sujet s'adressent également à M. Van Ermengen, Secrétaire perpétuel de l'Académie de Médecine et au personnel des deux Académies. »

« La Fondation Universitaire nous accorda de son côté la jouissance de ses locaux, grâce à l'amabilité de son Directeur, M. J. Willems, utilement secondé par ses collaborateurs. Nos sections de Physique et de Chimie y ont trouvé des salles pour leurs réunions. En outre, des exemplaires de l'ouvrage publié par elle sur les *Institutions d'Enseignement Supérieur et de Recherche en Belgique*, furent mis gracieusement à la disposition des congressistes. Enfin, nous avons pu organiser au Club de la Fondation, la soirée du samedi 28 juin et y trouver un gîte très apprécié par les délégués étrangers.

» Aux Journées Médicales, à son Secrétaire Général M. le Docteur Beckers, vont tous nos témoignages de gratitude. Les membres des deux Congrès ont pu assister à certaines réceptions en commun. De plus, nos sections d'hygiène, de biologie et de sciences médicales ont utilisé pour leurs réunions des locaux du Palais du Cinquantenaire, mis à leur disposition par les Journées Médicales.

» Les pouvoirs publics ne nous ont pas non plus ménagé leurs encouragements. Le Ministère des Sciences et des Arts a supporté la cotisation des professeurs de l'enseignement moyen et de l'enseignement normal ainsi que des assistants de l'Observatoire et du Musée d'histoire naturelle.

» De son côté, le Ministère de l'Industrie et du Travail accorda la même faveur aux inspecteurs de l'enseignement industriel et à certains professeurs d'écoles techniques.

» Notre gratitude va également aux Administrations provinciales et communales, à l'enseignement libre, aux Universités, à l'Ecole des Mines de Mons, à l'Ecole Militaire, à l'Ecole Vétérinaire, à l'Ecole des Textiles de Verviers, aux Bibliothèques et aux Sociétés scientifiques qui se sont fait représenter au Congrès.

» Nous n'oublierons pas non plus ceux de nos collègues qui ont guidé les excursions scientifiques organisées par différentes sections du Congrès, ainsi que le groupe de dames ayant prêté leur concours pour la réception des dames congressistes.

» La presse nous apporta, elle aussi, largement sa collaboration ; les journaux ont soutenu nos efforts en faisant connaître le Congrès au grand public, et en signalant l'importance du mouvement scientifique dans le pays. Le Comité exécutif a été puissamment secondé par le Bureau des Sociétés scientifiques et le Comité des diverses sections.

» A tous les Congressistes et particulièrement aux auteurs de communi-

cations va toute notre reconnaissance ; c'est leur concours qui a assuré la réussite de cette manifestation scientifique.

» Enfin, je suis particulièrement heureux, en ma qualité de Président, de remercier mes Collègues du Bureau du Congrès qui m'ont apporté à la fois le secours de leurs lumières et de leurs conseils ainsi que leur dévouement.

» A M. J. Wauteurs d'abord, notre trésorier, qui malgré son âge, a vaillamment assumé les charges de sa mission dans des circonstances difficiles et sous le coup d'un deuil cruel.

» M. J. Rose, Secrétaire Général, mérite une mention particulière; il est parvenu, malgré ses fonctions absorbantes, à réaliser presque seul l'organisation matérielle du Congrès. Il a réussi parfaitement, grâce à une activité et une bonne humeur de tous les instants.

» La collaboration de notre vice-président, M. M. de Selys-Longchamps nous a valu notamment le beau souvenir que constitue la médaille commémorative du Congrès. Il n'a ménagé ni ses démarches ni ses efforts pour mener à bonne fin son intéressante initiative. Il sut trouver en M. Tourneur, Conservateur en chef de la Bibliothèque Royale et M. Chargois, Professeur à l'Université de Bruxelles, des conseillers avisés dans le choix du sujet. M. Kugener, Professeur à l'Université de Bruxelles, apporta ses lumières d'épigraphiste à la rédaction de l'inscription latine et au choix des caractères appropriés. Enfin, M. J. Fonson a su exécuter les exemplaires de cette médaille dans un délai très court et réaliser excellemment cette œuvre qui fait honneur à la réputation de ses ateliers.

» N'oublions pas de remercier également MM. Verschaffelt et De Graef dont la collaboration nous fut précieuse dans la mise au point de nos textes flamands.

» En terminant cette longue énumération, je suis heureux de constater avec vous que le succès de ce premier congrès scientifique national a dépassé tous nos espoirs. Nous avons eu le plaisir d'enregistrer près de 600 adhésions : membres d'honneur, membres protecteurs, membres effectifs et membres adhérents.

» Mais c'est surtout le nombre des 220 communications faites au Congrès qui mérite d'être mis en vedette; elles constitueront la partie essentielle des Comptes Rendus et refléteront exactement l'état de la science belge après un siècle d'indépendance. »

M. le Président donne alors lecture des vœux émis par les différentes sections du Congrès ; après discussion, ceux-ci sont adoptés à l'unanimité. Ces vœux seront transmis aux autorités compétentes par le Bureau et communiqués au public par la voie de la Presse.

Répondant à la question d'un auditeur, M. Timmermans promet que la Fédération des Sociétés scientifiques étudiera l'opportunité de rendre périodiques les Congrès Nationaux de Sciences et les modalités pour la réalisation pratique de cette idée. Le Congrès National des Sciences de 1930 aura pour résultat de souligner l'importance de l'œuvre réalisée

par notre Fédération ; celle-ci ne cessera de poursuivre son projet de coordination et de développement des diverses disciplines scientifiques.

L'assemblée adopte la proposition faite par M. le Président de laisser au Comité organisateur le soin d'assurer la périodicité de ces Congrès et de déterminer la forme la plus convenable pour en assurer le maintien.

M. Van Iterson, Président du Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres, prend alors la parole et prononce en néerlandais une allocution où il remercie le Congrès National des Sciences de l'honneur qui lui a été fait d'assister à ses travaux et l'amabilité avec laquelle il a été accueilli.

Il a surtout été impressionné par la valeur scientifique des communications faites à la section où il a été présent.

Il signale à ce sujet l'attrait des Congrès scientifiques dont le rôle est de rapprocher les hommes de science et de contribuer ainsi au rapprochement des peuples. Il invite les congressistes à venir assister nombreux aux Congrès scientifiques qui se tiennent tous les deux ans dans les Pays-Bas et il assure que les Belges y seront chaleureusement accueillis par leurs voisins du Nord.

M. le Président résume en français l'allocution de M. Van Iterson. Il célèbre l'hospitalité hollandaise et félicite les savants néerlandais pour la tenue élevée des travaux de leurs réunions auxquelles il a déjà eu l'honneur d'assister.

Banquet de clôture

Une cinquantaine de personnes, parmi lesquelles plusieurs dames, avaient répondu à l'appel du Comité et le banquet final eut lieu dans les salons de la Taverne Royale, à Bruxelles.

A l'heure des toasts, M. J. Timmermans, président, après avoir porté la santé de LL. MM. le Roi et la Reine, protecteurs éclairés des Sciences, se réjouit de pouvoir saluer M. Rabaud, Président de l'Association française pour l'Avancement des Sciences, représentant les délégués étrangers.

M. Rabaud remercie et fait l'éloge de l'hospitalité et de la cordialité belges ; il se déclare enchanté d'avoir pu assister à une réunion aussi intéressante en cette année de fête jubilaire pour la Belgique. Il rappelle les traits d'union des deux peuples belge et français et formule l'espoir de voir les savants belges venir prendre part en plus grand nombre aux réunions périodiques de l'Association française pour l'Avancement des Sciences.

M. Pelseneer, après avoir remercié M. Timmermans des éloges qu'il lui a prodigués à la séance de clôture, déclare que si l'idée du Congrès lui a été attribuée, c'est à M. le Président et à ses collaborateurs que l'on doit le succès de cette réunion scientifique.

M. Pelseneer se réjouit de mesurer la portée de celle-ci ; elle a montré au peuple belge la vitalité de la Science belge et elle lui fait envisager l'avenir avec confiance. Nos successeurs seront dignes de leurs aînés et sauront porter plus haut encore le bon renom scientifique du pays.

Vœux

I. Vœu émis par la section de géodésie et de géophysique

A la suite de la communication présentée par le Général Seligmann sur les nivellements en Belgique, la Section de Géodésie et de Géophysique a émis le vœu suivant :

« Vu la situation des nivellements exécutés en Belgique, la disparition des repères du nivellement général qui a servi à l'établissement de la carte topographique du pays, l'état précaire des nivellements de précision non achevés et la disparition du plus grand nombre de ces repères ; vu d'autre part le haut intérêt scientifique qu'il y a à posséder un nivellement de précision complet plaçant la Belgique sur le même rang que les autres pays d'Europe, et l'utilité d'un tel nivellement pour le développement économique du pays, le Congrès National des Sciences émet le vœu que le zéro du nivellement soit rétabli et que les travaux du nivellement de précision soient repris et complétés par le département intéressé afin de couvrir le pays d'un réseau complet et homogène.

» La section de Géodésie et de Géophysique prie le Comité exécutif du Congrès de bien vouloir transmettre ce vœu au gouvernement. »

II. Vœux présentés

a) *Par les Sections de Botanique et de Zoologie réunies :*

« Plus aucun ouvrage d'ensemble sur la flore belge n'ayant paru depuis le *Prodrome* de MM. de Wildeman et Durand (1898-1907), le Congrès National des Sciences, sur la proposition des sections de Botanique et de Zoologie (siégeant en séance commune), émet le vœu que les subsides nécessaires soient accordés à la Société Royale de Botanique pour qu'elle réalise, avec les collaborateurs qu'elle a désignés, la publication d'Addenda à l'ouvrage mentionné plus haut, Addenda qui, au point de vue de la Systématique, de la Nomenclature et de la distribution des espèces, constitueront une mise au point, devenue indispensable, de nos connaissances sur la flore du Pays. »

b) *Par la Section de Botanique :*

« Considérant, d'une part, que, pour un pays colonial comme le nôtre, le concours de naturalistes systématiciens est indispensable à l'étude scientifique et à la mise en valeur de ses possessions d'outre-mer ; consi-

dérant, d'autre part, que, pour des raisons diverses et difficiles à faire disparaître, la botanique systématique n'est pas en général enseignée d'une façon suffisamment approfondie dans nos Universités et Instituts similaires, le Congrès National des Sciences, sur la proposition de la section de botanique, émet le vœu que, suivant en cela l'exemple de certains Instituts analogues de l'étranger, un enseignement de la botanique systématique soit créé au Jardin botanique de l'Etat. »

III. Vœu relatif à la protection de la nature en Belgique.

« Le Congrès National des Sciences réclame instamment de la part de la Chambre des représentants le vote du projet de loi sur la protection des sites naturels de notre pays, projet déjà adopté par le Sénat. »

IV. Vœux présentés par les sections de Géologie, de Botanique, de Zoologie et d'Anthropologie.

Premier vœu

« Considérant qu'il est hautement désirable, dans l'intérêt des recherches et de l'enseignement, que des mesures pratiques soient prises à bref délai pour éviter la destruction ou la disparition de certains sites naturels et préhistoriques qui présentent, en Belgique, une grande valeur aux points de vue de la Géologie, de la Botanique, de l'Entomologie, de la Zoologie et de la Préhistoire ;

» Demande au Gouvernement d'entreprendre, à l'occasion du Centenaire de la Belgique, la réalisation d'un programme par lequel un ensemble de Réserves Naturelles d'intérêt scientifique serait graduellement établi dans les parties les plus intéressantes du pays, telles que les dunes littorales, les bruyères et marais campiniens, les rochers de la Meuse, les hautes Fagnes, etc.

» Insiste spécialement, en raison de l'urgence, sur la nécessité de constituer immédiatement une semblable Réserve dans une partie du plateau de la Baraque-Michel, où le facies primitif est gravement menacé par les travaux de drainage et d'extraction de la tourbe, et par l'extension des peuplements forestiers ; et, pour le même motif, sur la nécessité de prendre toutes mesures utiles pour la remise en état de visite et la conservation des puits et galeries d'extraction de silex de la Station néolithique de Spiennes, de façon à permettre la continuation de l'étude scientifique de cette station d'intérêt exceptionnel.

» Le Congrès National estime que l'exécution d'un programme général pour la création et la gestion de Réserves Naturelles d'intérêt scientifique, programme essentiellement différent de celui qui incombe à la Commission Royale des Monuments et des Sites, devrait être confiée à une Commis-

sion Scientifique permanente, comprenant des représentants autorisés de l'Académie Royale et des Sociétés de Botanique, de Zoologie, de Géologie, d'Entomologie et de Préhistoire de Belgique ; et que cette Commission devrait disposer des pouvoirs et des moyens indispensables à la réalisation de cette tâche. »

Deuxième vœu

« Le Congrès National est d'avis que, dans le domaine colonial, il est extrêmement désirable d'étendre à d'autres régions spéciales de la Colonie les principes de protection intégrale de la nature, dans un but scientifique, si heureusement appliqués déjà par l'organisation du Parc National Albert du Kivu et au Ruanda. »

Troisième vœu

« Le Congrès National émet enfin le vœu de voir la Belgique prendre une part active au mouvement international pour la protection de la Nature, et demande notamment au Gouvernement d'envisager, d'accord avec certains Gouvernements étrangers, les moyens de développer sur une base officielle l'Office International pour la protection de la Nature, tout en conservant en Belgique le siège de ce centre de coopération et de documentation scientifique. »

V. Vœu émis par les Sections de Biologie et de Médecine.

« Le Congrès National des Sciences émet le vœu que la Fédération des Sociétés Scientifiques étudie le problème de la diffusion des publications scientifiques belges en publiant régulièrement l'index bibliographique, avec titres et résumés, des communications faites dans toutes les sociétés affiliées et d'envoyer cet index aux bibliothèques de Belgique et surtout à celles de l'étranger. »

VI. Vœu relatif à la Bibliothèque Royale.

« Le Congrès National des Sciences émet le vœu de voir donner à la Bibliothèque Royale des locaux suffisants dans un avenir aussi rapproché que possible. »

VII. Vœu relatif aux Comptes Rendus du Congrès.

« La Section de Zoologie émet le vœu de voir le volume des Comptes Rendus des travaux du Congrès distribué aux principales Universités, Académies et Sociétés scientifiques étrangères. »

Adresses d'Associations Scientifiques Étrangères

THE BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE
through its representative
Professor George Henry Falkiner Nuttall
offers cordial greeting to
LA FÉDÉRATION BELGE DES SOCIÉTÉS DE SCIENCES
on the auspicious occasion of the celebrations
in commemoration of
THE CENTENARY OF BELGIAN INDEPENDENCE

ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES

Le Président de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, à Monsieur le Président de la Fédération belge des Sociétés scientifiques.

C'est avec un sentiment de fraternelle solidarité que l'Association Française pour l'Avancement des Sciences répond à l'appel de la Fédération Belge des Sociétés de Science, pour prendre part au Congrès Belge des Sciences, et apporter à la Belgique un nouveau témoignage de sincère amitié, au moment où elle fête le centième anniversaire de son indépendance.

Le représentant de l'Association Française, le Professeur Etienne Rabaud, se déclare tout particulièrement heureux que les circonstances l'associent à cette commémoration et lui permettent de prendre une fois de plus contact avec la Science et les Savants belges.

VEREENIGING « HET NEDERLANDSCH NATUUR- EN GENEESKUNDIG CONGRÈS »

Aan het Bestuur van het Nationaal Wetenschappelijk Congres, te Brussel.

MIJNE HEEREN,

Het zij ons vergund, namens het Bestuur van het Nederlandsch Natuur- en Geneeskundig Congres, U onzen welgemeenden dank uit te spreken voor de eer, die U ons hebt bewezen door onzen Voorzitter uit te noodigen aan Uw Congres deel te nemen.

In hooge mate heeft het ons verheugd, dat Uw Congres in alle opzichten een succes is geworden en dat het zich gekenmerkt heeft door het hooge wetenschappelijke peil, waarop de mededeelingen en de discussies stonden.

Het is een groote vreugde voor onzen Voorzitter geweest om aan vele zittingen van de botanische sectie van Uw Congres te kunnen deelnemen en daar met talrijke vakgenooten van groote vermaardheid te kunnen kennis maken.

Wij willen dan ook niet nalaten aan het voorafgaande nog onze betuiging van bijzondere erkentelijkheid toe te voegen voor de groote gastvrijheid, die U aan onzen Voorzitter hebt bewezen.

Namens het Bestuur van het Nederlandsch Natuur-
en Geneeskundig Congres,

G. VAN ITERSON Jr., *Voorzitter* ;
D. COELINGH, *Secretaris*.

INSTITUT GRAND-DUCAL DE LUXEMBOURG

Section des Sciences Naturelles, Physiques et Mathématiques

Au Comité exécutif du Congrès National des Sciences, Bruxelles.

MESSIEURS,

Veuillez permettre à l'Institut Grand-Ducal de Luxembourg de vous transmettre ses hommages de profonde gratitude pour le grand honneur lui témoigné en l'invitant à se faire représenter à votre Congrès.

Notre Président nous a rapporté que le congrès a eu un parfait succès et a été remarquable par le niveau élevé des débats et la teneur hautement scientifique des communications.

Notre représentant a eu le grand honneur d'être appelé à la charge de vice-président et de diriger une séance de la Section de Botanique à laquelle il s'était inscrit. Nous avons noté cette distinction avec un orgueil légitime. Notre représentant a été surtout enchanté de la réconfortante cordialité avec laquelle les nombreux membres du Congrès l'ont accueilli, et de l'occasion qu'il a eue de nouer des relations avec ceux des savants réputés dont il n'avait pas encore eu le bonheur de faire la connaissance personnelle.

Le Bureau et les Membres de l'Institut Grand-Ducal tiennent surtout à remercier le Comité d'organisation du Congrès de la cordiale hospitalité témoignée à leur président pendant les belles journées de Bruxelles.

Au nom de l'Institut Grand-Ducal,

Edm. KLEIN, *Président.*
Dr FORMAN, *Vice-Président.*
P. HOFFMAN, *Trésorier.*

I^e Section : Mathématiques

Président : M. Mineur.
Vice-Présidents : MM. Alliaume, Bouny, Deruyts, L. Godeaux, Piron, Van Deuren.
Secrétaire : M. Rose.
Secrétaire-adjoint : M. Van Lierde (durant toutes les séances de la section).

Séance du Dimanche 29 juin à 15 heures.

Président : M. Mineur.

Allocution de M. Mineur, Professeur à l'Université de Bruxelles.

A la Séance d'ouverture, M. Mineur tient à dire qu'il doit l'honneur d'ouvrir cette première séance de la section mathématique du Congrès National des Sciences à sa qualité de Président de la Société Mathématique de Belgique, chargée de l'organisation de la Section mathématique.

Il ne peut entrer dans ses intentions de refaire l'histoire des mathématiques en Belgique que l'on peut trouver dans des livres publiés à l'occasion du Centenaire ; elle occupe dans l'histoire générale des Sciences, une place importante à laquelle la médaille commémorative du Congrès rend hommage, en reproduisant une médaille frappée en 1607 en l'honneur du mathématicien brugeois, Simon Stévin, que l'historien des mathématiques, feu le R. P. H. Bosmans appelait le plus illustre des Belges.

La Belgique a eu, à toutes les époques, ses mathématiciens comparables aux meilleurs des autres pays, et si notre enseignement mathématique atteint un niveau de plus en plus élevé, le mérite en revient à ceux qui, en ayant accepté la charge, se montrent dignes de la mission qui leur est confiée.

Communications :

M. Deaux : *Générations projectives des quintiques gauches rationnelles.*
M. Delgleize : *Surfaces réglées associées à une courbe gauche.*
M. Heuchamps : *Sur une suite de fractions continues réciproques qui se forme comme les réduites.*
M. Libois : *Sur les correspondances trilinéaires.*

Séance du Lundi 30 juin à 9 heures

Président : M. L. Godeaux.

Communications :

M. DEAUX : *Sur la courbure des quadriques et sur la surface des binormales d'une courbe à torsion constante.*

M. FOUARGE : *Système d'équations avec dérivées partielles du premier ordre résultant de la considération d'ensembles de transformations.*

M. L. GODEAUX : *Remarque sur les surfaces ayant mêmes quadriques de Lie.*

M. L. GODEAUX : *Les involutions ayant un nombre fini de points unis appartenant à une même surface algébrique.*

M. DE LA VALLÉE-POUSSIN : *Sur l'expression asymptotique de la Formule de lord Kelvin donnant le rapport des résistances d'un fil en courant alternatif ou continu.*

MARDI 1er JUILLET À 9 HEURES.

Président : M. MINEUR.

Communications :

M. DE DONDER : *Théorie invariantive du calcul des variations.*

M. LEPAGE : *Sur une classe d'équations aux dérivées partielles du second ordre.*

M. BRUWIER : *Sur l'équation fonctionnelle*

$$y^{(n)}(x) + a_1 y^{(n-1)}(x+c) + \ldots + a_{n-1} y'(x + \overline{n-1}\,c) + a_n y(x+nc) = 0$$

M. SIMONART : *Sur quelques limitations du module d'une fonction holomorphe et de sa dérivée sur le cercle.*

M. A. ERRERA : *De quelques problèmes d'Analysis situs.*

M. KRAITCHIK : *Une excursion dans le pays des nombres figurés.*

MERCREDI 2 JUILLET À 9 HEURES.

Président : M. MINEUR.

Communications :

M. ALLIAUME : *Contribution à l'étude des nomogrammes.*

M. VAN DEN DUNGEN : *L'équation de Fredholm dans l'étude des vibrations amorties.*

M. GERMAY : *Sur le théorème des fonctions implicites.*

M. FOUARGE : *Sur un procédé de transmutation de fonctions invariantes.*

A la séance de clôture, M. Mineur remercie les auteurs des communications faites à la section mathématique du Congrès; elles s'étendent sur toutes les parties de la science mathématique et leur publication dans les Actes du Congrès contribuera au maintien du bon renom de notre Ecole mathématique. Il remercie aussi ceux qui ont assisté aux séances ; leur présence, en si grand nombre, permettant d'envisager avec confiance l'avenir des études mathématiques dans notre Pays. Il déclare clos les travaux de la section mathématique du Congrès National des Sciences.

GÉNÉRATIONS PROJECTIVES DES QUINTIQUES GAUCHES RATIONNELLES

par R. DEAUX,

Professeur à l'Ecole des Mines de Mons

Une quintique gauche rationnelle sera dite de première ou de seconde espèce, et sera désignée par C_5^1 ou C_5^2, suivant qu'elle admet une ou deux quadrisécantes ; dans le second cas, il existe une infinité simple de quadrisécantes et celles-ci constituent un système réglé d'une quadrique ([1]).

Cette définition n'est pas équivalente à celle qu'adopte M. Hjelmann ([2]) qui renvoie à M. Bertini ([3]) : la quintique rationnelle est de seconde espèce si elle se trouve sur une quadrique ; car une quintique gauche binodale admet pour seule quadrisécante la droite de jonction des nœuds et se trouve toujours sur une quadrique ([4]).

Dans le présent travail, la recherche des générations projectives est basée sur le nombre de quadrisécantes, et sur le fait que les C_5^1, mais non les C_5^2, ont des trisécantes, celles d'une C_5^2 à point triple n'étant pas utilisables dans la voie suivie.

I. — Soient q, t', t'' la quadrisécante et deux trisécantes quelconques d'une C_5^1. Par projection des points de la courbe, les faisceaux de plans (q), (t'), de même que (q), (t'') sont en correspondance $(2, 1)$ et engen-
n'ont en outre en commun que la C_5^1. Les involutions (i'), (i'') engendrées
drent deux surfaces cubiques Σ_3', Σ_3'' qui, ayant même directrice double q,
par les couples de plans tangents menés à Σ_3', Σ_3'' en un même point variable sur q sont projectives. Pour que C_5^1 soit binodale, il faut et il

([1]) G. Loria, *Curve Sghembe*, **1**, 322, 324, dont la démonstration doit être complétée par la considération de la C_5^2 à point triple, car les quadrisécantes sont les génératrices d'un cône du second ordre.

([2]) *Annales Academiae Scientiarum Fennicae*, série A, 7 (1916). Pour la C_5^1 binodale, l'un des systèmes réglés de la quadrique support n'est pas formé de quadrisécantes, ce que semble oublier M. Hjelmann.

([3]) *Sulle curve gobbe razionali del quint' ordine (Coll. Mat. in mem.* D. Chelini) (1881).

([4]) M. Loria, bien qu'il ait posé la définition que nous avons choisie, écrit (330) : « *questa curva* (quintique) *appartiene all' iperboloide* $x_0x_3 - x_1x_2 = 0$, *onde è di II specie ; ha due cuspidi...* » ; *idem*, 329.

suffit que $(i'), (i'')$ soient constituées par les couples d'une même involution (i) ; les nœuds sont les points de contact sur q de Σ_3', Σ_3'', et correspondent aux coïncidences dans (i'), (i''). Dans ces conditions, si un couple variable α_1, α_2 de (i) est tangent à Σ_3', Σ_3'' aux points A′, A″ de q et rencontre C_5^1 en A_1, A_2, les plans $A' A_1 A_2$, $A'' A_1 A_2$ contiennent respectivement t', t'' et engendrent deux faisceaux projectifs ; la droite $A_1 A_2$ décrit donc un système réglé projectif à (i). Dès lors, *toute* C_5^1 *binodale est le lieu des points communs à un rayon variable d'un système réglé d'une quadrique* Σ_2 *et au couple de plans homologues d'une involution projective à ce système, portée par la droite de jonction des nœuds. Si* Σ_2 *a un point double, celui-ci est sur* C_5^1 *et les génératrices de* Σ_2 *sont des trisécantes* (5).

Les dégénérescences que comporte la réciproque s'établissent aisément.

II. — On considère une C_5^1 binodale ou non. Soient P′ un point non situé sur q, t' ; g', g'' les génératrices de Σ_3', Σ_3'' dans un plan γ passant par q. Si γ varie, le plan $P' g'$ enveloppe un cône du second ou du quatrième ordre suivant que P′ est ou non sur Σ_3', et les faisceaux de plans (γ), $(P' g')$ sont projectifs. Par suite, *toute* C_5^1 *peut s'obtenir comme lieu du point commun aux plans homologues de trois faisceaux projectifs, l'un porté par la quadrisécante* q, *les deux autres* (P′), (P″) *non superposés et portés par des cônes concentriques ou non et qui peuvent être, un seul ou tous deux, soit du second ordre soit du quatrième ordre et de la troisième classe, mais dans ce dernier cas la droite* q *doit être tangente au cône et le plan tangent qui la contient doit être un élément uni du faisceau conique et du faisceau* (q).

La ligne de contact de Σ_3' et du cône P′ est une cubique gauche ou une quartique gauche de seconde espèce admettant t' pour uni- ou bisécante, suivant que P′ est ou non sur Σ_3' (6) ; les droites g' marquent sur cette courbe et sur t' deux ponctuelles projectives ayant un ou deux éléments unis. Par la propriété corrélative, et en limitant l'énoncé au cas de la cubique gauche, on conclut que *toute* C_5^1 *peut s'obtenir comme lieu du point commun aux plans homologues de trois faisceaux projectifs, l'un* (q) *du premier ordre, les deux autres* (ω'), (ω'') *du troisième ordre non superposés et tels que* (q), (ω'), *de même que* (q), (ω'') *ont un élément uni.*

En considérant un cône et une développable circonscrits à Σ_3', on *peut remplacer, dans la génération précédente,* (ω'') *par un faisceau du second ordre ayant avec* (ω') *un élément uni.*

Nous n'examinons pas les réciproques, nécessaires pour l'étude de lieux tels que le suivant : *Si les plans tangents* α', α'' *à deux cylindres de révolution roulent sur ceux-ci avec la vitesse angulaire constante* ω, *et si un plan* α *tourne autour d'une droite fixe avec la vitesse* $\frac{\omega}{2}$, *le point* $\alpha\alpha'\alpha''$ *décrit en général une* C_5^1

(5) On ne peut donc pas, du fait qu'une quintique est projetée d'un point suivant un cône du second ordre, conclure, avec M. Loria (*op. cit.*, 334, 337, 339) que ce point est triple.

(6) E. Weyr, *Regelflächen dritter Ordnung*, 94, 98.

III. — Soient q une quadrisécante d'une C_5^1 ; b une bisécante ne rencontrant pas q ; Σ_2 la quadrique avec ou sans point double qui contient C_5^2. Par projection des points de C_5^2, les faisceaux de plans (q), (b) sont en correspondance $(3, 1)$ et engendrent une surface du quatrième ordre Σ_4 qui, ayant la directrice triple q, n'a en outre en commun avec Σ_2 que C_5^2. Les génératrices g, a de Σ_4, Σ_2 et situées dans un plan α passant par q se coupent sur C_5^2. Si S est un point de Σ_4, le plan $S\,g$ enveloppe un cône tricuspidal de la troisième classe bitangent au plan $S\,b$, et le système réglé (a) est projectif au système des plans $S\,g$. Donc, *toute* C_5^2 *peut s'obtenir à l'aide d'un système réglé projectif à un faisceau conique de plans porté par un cône tricuspidal de la troisième classe.*

La développable de la huitième classe circonscrite à Σ_4 et à une conique inscrite au triangle que forme b avec deux génératrices g_1, g_2 de Σ_4, comprend les faisceaux $(g_1), (g_2)$, trois fois le faisceau (b), et l'ensemble des plans osculateurs à une cubique gauche pour laquelle b est un axe. Chacun de ces plans contient une génératrice g de Σ_4 et coupe C_5^2 sur la génératrice de Σ_2 située dans le plan $q\,g$. Par suite, *toute* C_5^2 *est le lieu du point commun à deux éléments homologues d'un système réglé et d'un faisceau de plans du troisième ordre rapportés projectivement.* La réciproque et les dégénérescences auxquelles elle peut conduire s'établissent par un examen préalable de la surface du quatrième ordre qu'engendrent deux faisceaux projectifs de plans, l'un du premier. l'autre du troisième ordre (7). *Lorsque* Σ_2 *a un point double* S, *celui-ci est triple sur* C_5^2 *et les tangentes en* S *sont les homologues des plans du faisceau du troisième ordre issus de* S.

IV. — *Soient sur une quadrique* Σ *pouvant avoir un point double* S, *deux coniques sans point double* (ω'), (ω'') *dont les plans se coupent suivant une droite rencontrant* Σ *en* X, Y ; x, y *les rayons, issus de* X, Y, *d'un système réglé* $(\Sigma) = (a, b, c, \ldots)$ *de* Σ ; x', y' *les tangentes en* X *à* (ω'), (ω''); C_n *une courbe gauche d'ordre* n *ayant les rayons de* (Σ) *pour unisécantes. ou* $(n-1)$*-sécantes si le point* $(n-2)$*-uple S existe, et qui ne passe ni par* X *ni par* Y; A', A'', A *les points de* a *sur* (ω'), (ω''), C_n ; K *un nombre donné différent de 1, de 0, de* ∞. *Le lieu du point* A_0 *tel que* $(A'A''\,AA_0) = K$ *est une courbe* C_{n+2} *d'ordre* $n+2$ *qui passe par* X, Y, *par les* $2n$ *points communs à* C_n *et* (ω') *ou* (ω''), *et qui admet les rayons de* (Σ) *pour unisécantes.* C_{n+2} peut être dite *la transformée anharmonique* de C_n pour les coniques $(\omega'), (\omega'')$ et le coefficient k.

Un plan α mobile autour de s engendre un faiseau (α) projectif à l'involution I_n du n^e ordre décrite par les n rayons $a_i = 1, 2, \ldots n$, de (Σ) issus des points αC_n. Si q est une directrice de (Σ), ou un rayon de (Σ) lorsque S existe, le faisceau qu'engendre le plan α_0 passant par s et tel que

(7) REYE (*Geometrie der Lage*, II, 303 [1907]), examine sommairement le corrélatif.

$s(x' x'' \alpha \alpha_0) = k$ est projectif à l'involution $q(I_n)$. Les droites $\alpha_0 - (q\, \alpha_i)$ décrivent une surface d'ordre $n+1$ qui admet q pour droite n-uple et qui, ne contenant ni x, ni y, recoupe Σ suivant une courbe C_{n+2}.

La tangente t_x *à* C_{n+2} *en* X *est telle que* $(x' x'' x\, t_x) = k$. *Lorsque* C_n *passe par* X *et y admet une tangente* x_1, *le lieu de* A_0 *est une courbe* C_{n+1} *passant par* X *avec une tangente* t_x *telle que* $(x' x'' x_1 t_x) = k$, *pourvu que l'on ait* $(x' x'' x_1 t_x) = k$; *sinon, le lieu de* A_0 *est une courbe* C_n *qui rencontre* x *au point de contact de* Σ *avec le plan* sx.

Suivant que $n=2$ ou $n=3$, $k=-1$, on a la construction de VIETORIS [8] pour la quartique gauche de seconde espèce ou celle de HJELMANN [9] pour la C_5^2.

Réciproquement, une courbe C_n *d'ordre* n *admettant les rayons d'un système réglé pour* $(n-1)-$ *sécantes peut être regardée de* ∞^2 *manières comme la transformée anharmonique d'une courbe analogue* C_{n-2} *d'ordre* $n-2$, *relativement à deux coniques* (ω'), (ω'') *et à un coefficient* k *donné, différent de* 1, *de* 0 *et de* ∞ [10]. Soient, en effet, x, y, et x_1, y_1 les rayons unisécantes et les tangentes relatives aux points d'appui X, Y de l'une quelconque s des ∞^2 bisécantes de C_n. Si on choisit X, Y de manière que x_1, y_1 ne se coupent pas, il existe un ou deux couples de plans ω', ω'' passant par s, et tels que

$$s(\omega' \omega'' x_1 x) = s(\omega' \tilde{\omega}'' y_1 y) = \frac{1}{k} \cdot$$

La transformée anharmonique de C_n pour (ω'), (ω''), $\frac{1}{k}$ est une courbe C_{n-2} ne passant ni par X ni par Y ; celle de C_{n-2} pour (ω'), (ω''), k est une courbe C_n' tangente en X à x_1, en Y à y_1 et qui contient les $2n-4$ points de C_{n-2} dans ω', ω'' ; C_n' ayant $2n$ points communs avec C_n coïncide avec C_n car celle-ci est déterminée par $2n-1$ points.

On remarquera que, à chacune des $(n-2)(2n-5)$ bisécantes joignant deux des $2(n-2)$ points où C_n est tangente à une directrice du système réglé, sont attachées ∞^1 de telles transformations car x et y_1 se coupent, de même que y et x_1 [11].

---

(8) *Sitzungsberichte der Wiener Akademie*, **125**, 259, (1915); LORIA, *op. cit.*, 278 ; Mlle TRIVIER, *Mathesis*, 173 (1927) ; R. DEAUX, *id.*, 87 (1929).

(9) *Loc. cit.*, 9-11.

(10) M. BERTINI l'a établi pour $n=4$, k quelconque, et M. HJELMANN pour $k = -1$, $n=5$.

(11) L'*Enseignement mathématique* publiera en outre des applications des générations établies dans ce travail.

SURFACES RÉGLÉES ASSOCIÉES À UNE COURBE GAUCHE

par A. DELGLEIZE,

Assistant à l'Université de Liége

Soit une courbe gauche Γ et le plan π normal à cette courbe au point M. Par un point quelconque N de ce plan, menons une droite d parallèle à la tangente en M à Γ. Lorsque le point M décrit la courbe Γ la droite d engendre une surface réglée Σ que nous appellerons *réglée associée à la courbe* Γ.

Les coordonnées du point N par rapport au trièdre de Serret-Frenet en M à Γ seront

$$x = o, \quad y = f(v), \quad z = g(v)$$

où $f(v)$ et $g(v)$ sont des fonctions continues de l'arc v décrit par le point M, et admettant des dérivées premières et secondes finies et continues. Le lieu de N sera considéré comme la directrice Φ de la réglée.

L'objet de cette note est de déterminer les conditions auxquelles doivent satisfaire les fonctions $f(v)$ et $g(v)$ suivant les propriétés de la réglée Σ, et en particulier lorsque cette réglée est applicable sur le caténoïde.

§ 1. — Soient (α, β, γ), (ξ, η, ζ), (λ, μ, ν) les cosinus directeurs de la tangente, normale principale et binormale en M à Γ. L'équation de la génératrice d de la réglée Σ, rapportée à un système d'axes fixes O X Y Z sera

$$\frac{X - x - f\xi - g\lambda}{\alpha} = \frac{Y - y - f\eta - g\mu}{\beta} = \frac{Z - z - f\zeta - g\nu}{\gamma} = u \qquad (1)$$

où u indique la valeur algébrique de la distance du point (X, Y, Z) au plan normal π. Les quantités $x, y, z, \alpha, \ldots \nu$ seront fonctions de l'arc v.

Posons :

$$P = 1 - \frac{f}{\rho}, \; Q = \frac{df}{dv} + \frac{g}{T}, \; R = \frac{dg}{dv} - \frac{f}{T}, \; Q_1 = (Q + \frac{n}{\rho}).$$

De l'équation (1) nous déduisons les relations suivantes :

$$E = 1, \quad F = P, \quad G = P^2 + Q_1^2 + R^2$$

$$D = 0, \; D' = -\frac{R}{\rho\sqrt{Q^2 + R^2}},$$

$$D'' = \left(-\frac{PR}{\rho} - \frac{R^2 + Q_1^2}{T} + Q_1\frac{dR}{dv} - R\frac{dQ_1}{dv}\right)\frac{1}{\sqrt{Q_1^2 + R^2}}$$

$$ds^2 = du^2 + 2\,P\,du dv + (P^2 + Q_1^2 + R^2)\,dv^2 \qquad (2)$$

La valeur de u correspondant au point central de la génératrice de la réglée est :

$$u = -\rho\left(\frac{df}{dv} + \frac{g}{T}\right) = -\rho Q$$

et le paramètre de distribution :

$$w = -\rho\left(\frac{dg}{dv} - \frac{f}{T}\right) = -\rho R.$$

Pour les surfaces développables w est nul ; d'où la condition

$$\frac{dg}{dv} = \frac{f}{T}$$

et si l'on déforme la réglée des binormales de Γ la forme de cette équation ne change pas.

De (2) nous déduisons la propriété suivante : *les courbes $u = C^{te}$ sont trajectoires orthogonales des génératrices lorsque Σ passe par l'axe polaire de Γ.*

La condition pour que les courbes $u = C^{te}$ soient lignes de courbure est

$$F D'' - G D' = 0$$

et de cette relation on déduit la propriété suivante :

Les surfaces Σ telles que les courbes $u = C^{te}$ soient lignes de courbure sont les surfaces développables passant par l'axe polaire de Γ.

Dans l'hypothèse où la directrice Φ est ligne asymptotique et trajectoire orthogonale des génératrices, nous avons la relation

$$\frac{1}{T} = \frac{d\varphi}{dv}$$

où φ est l'angle compris entre la tangente à la directrice et la normale principale à Γ. En particulier nous retrouvons les développées de Γ.

Si Φ est asymptotique et ligne de striction nous avons, suivant le théorème de Beltrami-Enneper :

$$T_1^2 = T^2 P^2$$

où T_1 est la torsion de Φ, et sachant que $w^2 = T_1^2$ nous obtenons $w^2 = T^2 P^2$. Nous en déduisons la propriété : *si pour une ligne asymptotique d'une réglée on a la relation $w^2 = T^2$, cette asymptotique est ligne de striction.*

Pour que la directrice Φ soit ligne de striction et trajectoire orthogonale des génératrices, nous obtenons les conditions :

$$f = \rho\,,\ g = -T\frac{d\rho}{dv} = -h \qquad (3)$$

et pour le paramètre de distribution :

$$w = \rho\left(\frac{dh}{dv} + \frac{\rho}{T}\right) \qquad (4)$$

La formule (3) nous permet d'énoncer le résultat suivant : *Sur la réglée* Σ, *telle que ses génératrices passent par les centres des sphères osculatrices à* Γ, *la directrice* Φ *est ligne de striction et trajectoire orthogonale des génératrices.*

§ 2. — Nous savons que les surfaces réglées dont la ligne de striction coupe les génératrices à angle droit et pour lesquelles le paramètre de distribution est constant sont applicables sur le caténoïde.

Si Φ est ligne de striction, les réglées Σ applicables sur le caténoide seront définies par les relations (3) et (4) où w est égal à une constante non nulle, c'est-à-dire :

Pour toute courbe Γ *satisfaisant à l'équation*

$$\rho\left(\frac{d\,h}{d\,v}+\frac{\rho}{T}\right)=C^{te}$$

la réglée Σ, *dont la génératrice passe par le centre de la sphère osculatrice à* Γ, *est applicable sur le caténoïde.*

Examinons maintenant le problème suivant : déterminer les réglées Σ applicables sur le caténoïde lorsque la courbe Γ est quelconque. Ce problème se ramène au suivant : déterminer une courbe à torsion constante telle que la binormale soit parallèle à la tangente à Γ. Si les coordonnées x_1, y_1, z_1, d'un point d'une courbe, par rapport au triède de Serret en M à Γ, satisfont au système

$$\left\{\begin{aligned} & x_1=-\rho\left(\frac{d\,y_1}{d\,v}+\frac{z_1}{T}\right)\\ & 1-\frac{y_1}{\rho}+\frac{d\,x_1}{d\,v}=0\\ & \rho\left(\frac{d\,z_1}{d\,v}-\frac{y_1}{T}\right)=C^{te}\end{aligned}\right. \qquad (5)$$

cette courbe est à torsion constante et satisfait aux conditions du problème.

Donc à une *courbe* Γ *quelconque, on peut toujours associer une réglée* Σ *applicable sur le caténoïde.*

Le système (5) peut encore s'écrire sous la forme

$$R=C^{te}$$

$$P=\frac{d}{dv}(\rho.\,Q)\,.$$

SUR UNE SUITE DE FRACTIONS CONTINUES RÉCIPROQUES QUI SE FORME COMME LES RÉDUITES

par E. HEUCHAMPS,

Professeur à l'Athénée de Dinant

---

1. — On appelle suite de Lamé ou de Fibonacci, la suite des dénominateurs des réduites consécutives de la fraction continue périodique simple

$$(1;1;1;1;\ldots\ldots\ldots\ldots) \qquad (\alpha)$$

Si l'on désigne par u_n son terme général, cette suite est définie par la relation de récurrence

$$u_n = u_{n-1} + u_{n-2}.$$

2. — Nous considérerons, dans cette note, la suite des fractions continues réciproques

$$(n,n); \quad (n,1,n); \quad (n,1,1,n);\ldots\ldots\ldots \qquad (\beta)$$
$$(n,1,1,\ldots,1,\ldots 1,1,n);\ldots\ldots\ldots \quad \ldots$$

Cette suite (β) ne diffère de la suite des réduites de (α), à partir de la deuxième, que par les éléments extrêmes de chacun des termes qui sont dans (β) un nombre entier n quelconque. Les « éléments » 1 intervenant dans les termes de la suite (β) seront appelés « éléments intercalaires ».

3. — Théorème.

La suite des fractions continues réciproques définie au n° 2 se forme d'après une loi identique à la loi de formation des réduites d'une fraction continue ; en d'autres termes, chaque terme de la suite (β) *est une fraction irréductible dont le numérateur (dénominateur) est égal au numérateur (dénominateur) du terme précédent multiplié par le nouvel élément ajouté 1, augmenté du numérateur (dénominateur) du terme avant-précédent.*

Appelons $\frac{N_p}{D_p}$ la fraction continue $(n,1,1,\ldots\ldots 1,1,n)$ de la suite (β) contenant p éléments intercalaires 1 et soient $\frac{R}{R'}$, $\frac{S}{S'}$ et $\frac{T}{T'}$ respectivement les $(p-1)^{\text{ième}}$, $p^{\text{ième}}$ et $(p+1)^{\text{ième}}$ réduites de $\frac{N_p}{D_p}$.

$$\frac{T}{T'}=\frac{S+R}{S'+R'},$$

$$\frac{N_{p-1}}{D_{p-1}}=\frac{Sn+R}{S'n+R'}$$

$$\frac{N_p}{D_p}=\frac{Tn+S}{T'n+S'}$$

$$\frac{N_{p+1}}{D_{p+1}}=\frac{T\left(1+\frac{1}{n}\right)+S}{T'\left(1+\frac{1}{n}\right)+S'}=\frac{(T+S)\,n+T}{(T'+S')\,n+T'}$$

$$=\frac{Tn+S+Sn+T-S}{T'n+S'+S'n+T'-S'}$$

$$=\frac{Tn+S+Sn+R}{T'n+S'+S'n+R'}=\frac{N_p+N_{p-1}}{D_p+D_{p-1}}$$

quel que soit p.

4. — La suite (β) peut se décomposer en deux autres : l'une croissante

$$\frac{N_0}{D_0},\frac{N_2}{D_2},\frac{N_4}{D_4},\ \dots\dots\dots\dots\ ,\frac{N_{2p}}{D_{2p}},\ \dots\dots \qquad (\beta')$$

formée des termes de (β) qui contiennent un nombre pair d'éléments intercalaires, l'autre décroissante

$$\frac{N_1}{D_1},\frac{N_3}{D_3},\ \dots\dots\dots\dots\ ,\frac{N_{2p+1}}{D_{2p+1}},\ \dots\dots \qquad (\beta'')$$

formée des termes de (β) contenant un nombre impair d'éléments intercalaires.

En effet,

$$\frac{N_0}{D_0}=(n,\dot{n})=\frac{n^2+1}{n},$$

$$\frac{N_1}{D_1}=(n,1,n)=\frac{n^2+2n}{n+1},$$

$$\frac{N_1}{D_1}>\frac{N_0}{D_0},$$

car $$(n^2+2n)n>(n^2+1)(n+1)$$

ou $$n^2-n-1>o,$$

inégalité vérifiée pour n entier>1.

De même,

$$\frac{N_{2p-2}}{D_{2p-2}}<\frac{N_{2p-1}+N_{2p-2}}{D_{2p-1}+D_{2p-2}}<\frac{N_{2p-1}}{D_{2p-1}} \qquad (1)$$

$$\text{ou} \quad \frac{N_{2p-2}}{D_{2p-2}} < \frac{N_{2p}}{D_{2p}} < \frac{N_{2p-1}}{D_{2p-1}},$$

quel que soit p, tous les termes de la double inégalité (1) étant positifs.

5. — Tout terme de la suite (β') est donc inférieur à tout terme de la suite (β'') et réciproquement.

Les deux suites (β') et (β'') sont infinies comme (β).

On a donc

$$\frac{N_0}{D_0} < \frac{N_2}{D_2} < \ldots\ldots\ldots < \frac{N_{2p}}{D_{2p}} < \ldots\ldots < \frac{N_{2p+1}}{D_{2p+1}} < \ldots < \frac{N_3}{D_3} < \frac{N_1}{D_1}.$$

6. — La différence entre deux termes de même rang des suites (β') et (β'') ou deux termes consécutifs de (β) tend vers zéro lorsque le rang grandit indéfiniment.

La démonstration de cette proposition résulte immédiatement des deux lemmes suivants dont la démonstration omise ici est identique à celle des énoncés analogues de la théorie des réduites.

Lemme I.

Les numérateurs et dénominateurs des termes de la suite (β) augmentent avec le rang de l'élément, ou bien

$$\lim_{p=\infty} N_p = \lim_{p=\infty} D_p = \infty .$$

Lemme II.

La valeur absolue de la différence entre deux termes consécutifs de la suite (β) est une fraction dont le numérateur constant vaut n^2-n-1 et dont le dénominateur vaut le produit des dénominateurs des deux termes

On a donc finalement

$$\lim_{p=\infty} \left(\frac{N_p}{D_p} - \frac{N_{p-1}}{D_{p-1}}\right) = \lim_{p=\infty} \left(\frac{N_p \cdot D_{p-1} - N_{p-1} \cdot D_p}{D_p \cdot D_{p-1}}\right)$$

$$= \lim_{p=\infty} \frac{\pm (n^2 - n - 1)}{D_p \cdot D_{p-1}} = 0.$$

7. — Les deux suites convergentes (β') et (β'') définissent donc un nombre qui est leur limite commune.

8. — Théorème.

Le terme de rang infini de la suite (β) *est la limite commune des deux suites convergentes* (β') *et* (β'').

Soient :

$$u_1,\ u_2,\ u_3,\ \ldots\ldots\ u_n,\ \ldots\ldots$$

les termes de la suite de Lamé.

On a :

$$N_p = u_2 N_{p-1} + u_1 N_{p-2}$$

$$N_{p+1} = N_p + N_{p-1} = u_3 N_{p-1} + u_2 N_{p-2}$$

$$N_{p+2} = N_{p+1} + N_p = u_4 N_{p-1} + u_3 N_{p-2}$$

Dès lors ,au moyen d'une formule de récurrence, on établit aisément que si N_{p+r-2} et N_{p+r-1} sont de la forme

$$N_{p+r-2} = u_r N_{p-1} + u_{r-1} N_{p-2}$$

$$N_{p+r-1} = u_{r+1} N_{p-1} + u_r N_{p-2}$$

l'expression de N_{p+r} est

$$N_{p+r} = (u_r + u_{r+1}) N_{p-1} + (u_{r-1} + u_r) N_{p-2}$$

$$= u_{r+2} N_{p-1} + u_{r+1} N_{p-2}.$$

Le même raisonnement vaut pour l'expression de D_{p+r} et l'on a ainsi

$$\frac{N_{p+r}}{D_{p+r}} = \frac{u_{r+2} N_{p-1} + u_{r+1} N_{p-2}}{u_{r+2} D_{p-1} + u_{r+1} D_{p-2}}$$

$$\frac{N_{p+r}}{D_{p+r}} = \frac{\frac{u_{r+2}}{u_{r+1}} N_{p-1} + N_{p-2}}{\frac{u_{r+2}}{u_{r+1}} D_{p-1} + D_{p-2}}$$

$$= \frac{R_{r+1} N_{p-1} + N_{p-2}}{R_{r+1} D_{p-1} + D_{p-2}},$$

R_{r+1} désignant la réduite de rang $(r+1)$ de la fraction continue périodique simple

$$(1;1;1;1;\ldots\ldots\ldots) \qquad (\alpha)$$

On a ainsi établi que l'une des expressions du terme de rang infini de la suite (β) est

$$\lim_{p=\infty} \frac{N_p}{D_p} = \frac{L \cdot N_{p-1} + N_{p-2}}{L \cdot D_{p-1} + D_{p-2}}$$

où L désigne la génératrice de la fraction continue (α).

Un calcul très simple montre que le terme de rang infini de la suite (β) reste constamment compris entre deux termes consécutifs

$$\frac{N_{p-1}}{D_{p-1}} \text{ et } \frac{N_{p-2}}{D_{p-2}}$$

de cette suite quel que soit le rang de ces termes ; ceci montre que ce terme est la limite commune des suites (β') et (β'').

9. — Avant de passer à la recherche de cette limite, donnons une nouvelle expression des numérateurs et dénominateurs des termes de la suite (β). Connaissant les deux premiers termes de cette suite (n° 4) et la loi de formation des termes successifs de la suite, on démontrera aisément que N_2, N_3, D_2, D_3, pouvant s'exprimer respectivement sous la forme suivante

$$u_3 n^2 + 2 u_2 n + u_1,$$
$$u_4 n^2 + 2 u_3 n + u_2,$$
$$u_3 n + u_2,$$
$$u_4 n + u_3,$$

N_p et D_p devront nécessairement être de la forme

$$u_{p+1} n^2 + 2 u_p n + u_{p-1} \quad \text{et} \quad u_{p+1} n + u_{p-1} ,$$

u_p désignant comme précédemment le terme de rang p de la suite de Lamé.

10. — Théorème.

La limite commune des deux suites (β') *et* (β'') *vaut* $n + \frac{1}{L}$

En effet, (n° 8),

$$\frac{N_p}{D_p} = \frac{u_{p+1} n^2 + 2 u_p n + u_{p-1}}{u_{p+1} n + u_p}$$

$$\lim_{p=\infty} \frac{N_p}{D_p} = \lim_{p=\infty} \frac{n^2 + 2 \frac{u_{p+1}}{u_p} n + \frac{u_{p-1}}{u_{p+1}}}{n + \frac{u_p}{u_{p+1}}}$$

Or $\frac{n_{p+1}}{u_p}$ est la p^{me} réduite de la fraction continue périodique (α).

Le rapport $\frac{u_{p+1}}{u_p}$ admet une limite égale à $\frac{\sqrt{5}+1}{2}$ ou L.

On a donc

$$\lim_{p=\infty} \frac{u_p}{u_{p+1}} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = \frac{1}{L} = l$$

et

$$\lim_{p=\infty} \frac{u_{p-1}}{u_{p+1}} = \lim_{p=\infty} \left(\frac{u_{p-1}}{u_p} \cdot \frac{u_p}{u_{p+1}}\right)$$

$$= \lim_{p=\infty} \left(\frac{u_{p-1}}{u_p}\right) . \lim_{p=\infty} \left(\frac{u_p}{u_{p+1}}\right) = \lim \left(\frac{u_p}{u_{p+1}}\right)^2 = \frac{1}{L^2} = l^2.$$

D'où

$$\lim_{p=\infty} \frac{N_p}{D_p} = \lim_{p=\infty} \frac{n^2 + 2\frac{u_p}{u_{p+1}} n + \frac{u_{p-1}}{u_{p+1}}}{n + \frac{u_p}{u_{p+1}}}$$

$$= \frac{n^2 + 2\,ln + l^2}{n + l} = n + l = n + \frac{1}{L}$$

La suite (β) et celle des réduites de la fraction continue périodique mixte $(n; 1; 1; 1; \ldots\ldots\ldots\ldots)$ admettent donc la même limite.

11. — Considérons l'ensemble de toutes les fractions continues réciproques envisagées dans cette note, réunies dans le tableau suivant :

$$\begin{array}{llllll}
(1,1) & (1,1,1) & (1,1,1,1) & \ldots\ldots\ldots & (1,1,1,\ldots\ldots,1,1,1) & \ldots \\
(2,2) & (2,1,2) & (2,1,1,2) & \ldots\ldots\ldots & (2,1,1,\ldots\ldots,1,1,2) & \ldots \\
(3,3) & (3,1,3) & (3,1,1,3) & \ldots\ldots\ldots & (3,1,1,\ldots\ldots,1,1,3) & \ldots \\
\ldots & & & & & \\
\ldots & & & & & \\
(n,n) & (n,1,n) & (n,1,1,n) & \ldots\ldots\ldots & (n,1,1,\ldots\ldots,1,1,n) & . \\
\ldots & & & & &
\end{array}$$

n désignant le numéro de la ligne et p celui de la colonne, le terme qui se trouve à l'intersection de la n^{me} ligne et de la p^{me} colonne est une fraction ordinaire irréductible que nous désignerons par

$$\frac{N_p^n}{D_p^n}$$

12. — Théorème.

Les numérateurs et dénominateurs des fractions d'une ligne quelconque forment respectivement des suites définies par la relation de récurrence qui définit celle de Lamé.

Cela résulte immédiatement du théorème démontré au n° 3.

13. — Théorème.

Les numérateurs des fractions d'une colonne quelconque forment la suite.

$$(\sigma)\quad N_p^1,\ N_p^2,\ \ldots\ldots\ldots\ N_p^n,\ N_p^{n+1},\ \ldots\ldots\ldots$$

telle que la suite (σ') *dérivée de* (σ) *en formant les différences entre les termes consécutifs de cette dernière*

$$N_p^2 - N_p^1,\ N_p^3 - N_p^2,\ \ldots\ldots\ldots\ ,N_p^{n+1} - N_p^n,\ \ldots\ldots\ldots$$

est une progression arithmétique de raison r_p *fonction de* p. *Les raisons de*

ces progressions correspondant à chacune des colonnes du tableau sont elles-mêmes liées par la relation de récurrence $r_p = r_{p-1} + r_{p-2}$.

En effet, soit la suite de Lamé

$$u_1, u_2, u_3, \ldots\ldots\ldots u_n, \ldots\ldots\ldots$$

Posons conventionnellement

$$u_0 = 0 \; ; u_{-1} = +1 \; .$$

On sait (n° 8) que

$$\frac{N_p^n}{D_p^n} = \frac{u_p n^2 + 2 u_{p-1} n + u_{p-2}}{u_p n + u_{p-1}}$$

Le terme général de la suite (σ) est donc

$$u_p n^2 + 2 u_{p-1} n + u_{p-2}$$

celui (de même rang) de (σ′)

$$u_p (n+1)^2 + 2 u_{p-1}(n+1) + u_{p-2} - (u_p n^2 + 2 u_{p-1} n + u_{p-2}) = u_p (2n+1) + 2 u_{p-1},$$

ce qui montre que les termes de (σ′) sont ceux d'une progression arithmétique de raison $r_p = 2 u_p$.

Comme on a

$$u_p = u_{p-1} + u_{p-2}$$

on a de même

$$r_p = r_{p-1} + r_{p-2} \; .$$

14. — Théorème.

Les dénominateurs des fractions d'une même colonne quelconque forment une progression arithmétique de raison ϱ_p, *fonction de* p, *les raisons successives* ϱ_p *étant liées par la relation de récurrence*

$$\varrho_p = \varrho_{p-1} + \varrho_{p-2}$$

On démontrera comme plus haut que $\varrho_p = u_p = \dfrac{r_p}{2}$.

SUR LES CORRESPONDANCES TRILINÉAIRES

par P. LIBOIS,

Assistant à l'Université de Bruxelles

---

1. — C. Segre (1) a montré que l'on peut considérer les groupes de k points pris respectivement dans k espaces Sp_1, Sp_2 ... Sp_k comme des points d'une variété de dimension $\sigma = p_1 + p_2 + \ldots + p_k$, d'ordre $\frac{\sigma}{p_1 ! \, p_2 ! \ldots \ldots p_k !}$ et appartenant à un espace à (p_1+1) (p_2+1) ... $(p_k+1)-1$ dimensions. Segre a étudié de façon détaillée les variétés correspondant à $k=2$. Nous nous proposons d'examiner le cas de $k=3$ en nous limitant à l'hypothèse la plus simple $p_1 = p_2 = p_3 = 1$.

Nous serons ainsi conduit à étudier une variété à trois dimensions et d'ordre six, V_3^6, située dans un espace à sept dimensions S_7. Cette variété a été signalée en premier lieu par F. Enriques (2). Nous déduirons de l'étude de cette variété des propositions relatives aux correspondances trilinéaires (3).

Si l'on compare ces propositions à celles obtenues pour $k=2$, $p_1 = p_2 = 1$ (4), on voit que bien souvent elles en sont une généralisation naturelle ; on peut d'ailleurs passer au cas de k quelconque $p_1 = p_2 \ldots = p_k = 1$ et l'on constate immédiatement que pour certaines propriétés, la parité de k joue un rôle important.

2. — La variété V_3^6 peut être définie comme lieu des droites joignant les points homologues de deux quadriques qui se correspondent projectivement dans deux espaces S_3 indépendants et, par conséquent, situés dans un S_7. Ces droites s'appuient, encore, sur une série ∞^1 de quadriques entre les points desquelles elles établissent une correspondance projective. Nous disons que ces quadriques et ces droites sont de première espèce et

(1) Sulle varietà che rappresentano le coppie di punti di due piani o spazi. (*Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, **5**, 192-204 [1891]).

(2) Sui sistemi lineari di superficie algebriche le cui intersezioni variabili sono curve ellittiche. (*Rend. della R. Accad. dei Lincei* [1894].) — Voir aussi Scorza : Le varietà a curve sezioni ellitiche (*Annali di Matematica*, III, **15**).

(3) On trouvera des renseignements bibliographiques dans l'*Encyclopédie des sciences mathématiques*, III, 8, Géométrie projective : Schoenflies et Tresse, 132.

(4) Voir pour un exposé de la question et des renseignements bibliographiques : Libois, *Systèmes linéaires de projectivités entre deux formes de première espèce* (Mathesis, 122-128 [1930]).

l'on voit qu'il existe sur la variété deux autres séries de quadriques et de droites qui sont dites de deuxième et de troisième espèces.

3. — Les quadriques d'une même espèce n'ont pas de point commun et il en est de même des S_3 qui les contiennent. Les projectivités définies entre les quadriques s'étendent à ces S_3 et, ainsi, le lieu des S_3 contenant les quadriques d'une même famille est en même temps le lieu des droites en nombre ∞^3 joignant les points homologues. Ce lieu est une variété de dimension 4 et d'ordre 4, V_4^4. Il existe trois telles variétés correspondant aux trois systèmes de quadriques.

4. — Par tout point O de V_3^6 passent trois droites et trois quadriques. Les trois droites définissent un espace S_3 qui est le lieu des tangentes à V_3^6 en O; les trois quadriques appartiennent à un S_6 qui sera dit hyperplan focal de O parce que les points O et les hyperplans correspondants définissent un espace focal.

Les hyperplans focaux des points d'un S_3 tangent sont les hyperplans passant par cet S_3, c'est-à-dire les hyperplans tangents à V_3^6 en O, les S_3 tangents sont donc leurs propres conjugués dans l'espace focal.

Lorsque le point O engendre V_3^6 le S_3 tangent engendre une hypersurface du quatrième ordre V_6^4 ; cette hypersurface admet comme variété double l'ensemble des trois V_4^4 précédemment définies.

5. — Si on associe à la variété V_3^6 un point de V_3^6, un point d'une V_4^4 non situé sur V_3^6, un point de V_6^4 non situé sur une V_4^4, ou un point de S_7 non situé sur V_6^4, on obtient respectivement quatre figures qui n'admettent pas d'invariant projectif.

On peut adjoindre à ces figures les hyperplans focaux des points considérés et les intersections de ces hyperplans et de V_3^6. Ces intersections sont respectivement : trois quadriques, une quadrique et une surface réglée du quatrième ordre se coupant suivant une conique, une surface du sixième ordre admettant un point double, une surface du sixième ordre sans point double. Ces quatre espèces de surfaces n'ont donc pas d'invariant projectif. Ainsi : deux hyperplans non tangents à V_3^6 coupent cette variété suivant deux surfaces sextiques projectives.

6. — Une droite, l, de S_7 coupe, en général, la V_6^4 en quatre points distincts A_i. Les hyperplans focaux α des points de l ont en commun un S_5 qui coupe V_3^6 suivant une courbe sextique de genre un, C_1^6. Aux quatre points A_i, correspondent quatre hyperplans tangents α_i. Les hyperplans α tracent sur V_3^6 un faisceau de surfaces du sixième ordre σ, parmi lesquelles se trouvent quatre surfaces à point double. La figure ainsi définie admet un invariant projectif : soit le rapport anharmonique des points A_i, des hyperplans α_i, des surfaces σ_i, soit l'invariant de la sextique C_1^6.

7. — Supposons que la droite l, tout en n'ayant aucun point commun avec les V_4^4, ne rencontre pas V_6^4 en quatre points distincts.

Cinq cas sont à distinguer.

a) Les points A_1 et A_2 sont confondus. La sextique C_1^6 a un point double au point de contact de l'hyperplan $\alpha_1 = \alpha_2$, le genre de C_1^6 est nul. La figure n'a plus d'invariant projectif.

b) Les points A_1, A_2, A_3 sont confondus. La sextique C_1^6 a un point de rebroussement.

c) Les points A_1, A_2 d'une part, A_3, A_4, d'autre part, sont confondus. La sextique admet deux points doubles, c'est-à-dire se décompose en deux cubiques bisécantes.

d) Les points A_1, A_2, A_3, A_4 sont confondus. La sextique est décomposée en deux cubiques tangentes.

e) La droite l appartient à V_6^4. Le S_5 correspondant coupe V_3^6 suivant deux cubiques infiniment voisines.

8. — Supposons que la droite l, tout en n'ayant aucun point commun avec V_3^6, rencontre l'une au moins des variétés V_4^4. Nous nous limiterons aux cas les plus intéressants.

a) En général, l ayant un point A commun avec une V_4^4 recoupe V_6^4 en deux points distincts A_1 et A_2. L'hyperplan focal α de A coupe V_3^6 suivant une quadrique et une surface réglée du quatrième ordre. Les hyperplans focaux de A_1 et A_2 sont tangents à V_3^6. Le S_5 correspondant à l coupe V_3^6 suivant une section hyperplane de (α, V_3^6) c'est-à-dire suivant une conique et une quartique rationnelle bisécantes.

b) La droite l joint trois points appartenant respectivement aux trois V_4^4, ou bien, la droite l appartient à un S_3 tangent. La sextique est décomposée en les trois droites issues du point de contact de S_3 et une cubique passant par ce point.

c) La droite l appartient à une V_4^4 ; elle joint des points homologues dans les S_3 qui constituent la V_4^4. Les hyperplans focaux des points de l coupent V_2^6 suivant une surface réglée du quatrième ordre et suivant les quadriques d'un même système.

9. — Supposons que la droite l ait au moins un point commun avec V_3^6. Ici encore nous n'envisagerons que les cas les plus intéressants.

a) En général, le S_3 correspondant à l coupe V_3^6, suivant trois coniques ayant deux à deux, un point commun.

b) Si l est une bisécante de V_3^6, soient A et B les points (l, V_3^6). L'intersection du S_5 correspondant à l et de V_3^6 est l'ensemble des points communs aux trois quadriques par A et aux trois quadriques par B, c'est-à-dire un hexagone.

c) Si A et B tendent l'un vers l'autre, l devient une tangente à V_3^6, les côtés opposés de l'hexagone viennent deux à deux se confondre et l'hexagone se réduit aux trois droites issues de $A \equiv B$ comptées deux fois.

d) Si les points A et B appartiennent à une même quadrique, les hyperplans focaux des points de l coupent V_3^6 suivant cette quadrique et des surfaces quartiques réglées ayant toutes deux droites communes.

e) Si la droite l est une génératrice de V_3^6, les hyperplans focaux des points de l coupent V_3^6 suivant les deux quadriques passant par la géné-

ratrice et suivant une troisième quadrique variable dans le troisième système.

10. — Les cubiques gauches situées sur V_3^6 sont de deux espèces. Les unes sont situées sur les quadriques de la variété et ne seront pas étudiées ici. Les autres sont obtenues comme lieu du point commun à trois quadriques de modes différents associées projectivement. Ces cubiques sont en nombre ∞^5 et sont déterminées par trois points dont deux quelconques ne sont pas situés sur une même quadrique. Deux de ces cubiques ont 0, 1 ou 2 points communs suivant que le plus petit espace les contenant est de dimension 7, 6 ou 5.

L'ensemble ∞^2 des cubiques appartenant à un S_5 non particulier est décomposé en deux ensembles algébriques ; deux cubiques de même espèce ont un point commun, deux cubiques d'espèces différentes ont deux points communs.

11. — Par un hexagone situé sur V_3^6 (9, *b*) passent les hyperplans d'un faisceau et par conséquent un faisceau de surfaces du sixième ordre. Deux de ces surfaces sont décomposées en trois quadriques. Grâce aux propriétés de l'espace focal associé à V_3^6, on peut donc dire que par tout point, O, de S_7, non situé sur V_6^4, passe une bisécante de V_3^6.

Le conjugué harmonique du point O, par rapport aux points d'appui de la bisécante, est commun aux hyperplans polaires de O par rapport aux ∞^8 hyperquadriques passant par V_3^6.

12. — Pour passer aux propriétés des correspondances trilinéaires, il suffit de considérer les quadriques des trois espèces comme des éléments de trois formes de première espèce. Tout point de V_3^6 étant commun à trois quadriques d'espèces différentes représente un triple d'éléments appartenant respectivement aux trois formes. Les triples dont les éléments sont liés par une relation trilinéaire T sont représentés par les points communs à V_3^6 et à un hyperplan α. On peut représenter la correspondance trilinéaire T par le foyer A de l'hyperplan α. Un faisceau de correspondances trilinéaires est alors représenté par une droite de S_7 et ainsi l'étude des différentes positions que peut occuper une droite par rapport à V_3^6 donne une classification des ensembles de triples appartenant à deux correspondances trilinéaires et, par conséquent, à un faisceau de telles correspondances. Les cubiques étudiées (10) représentent les triples formés d'éléments des trois formes liées projectivement deux à deux.

13. — L'étude de V_3^6 et des correspondances trilinéaires devrait encore porter sur les points suivants : projectivité de S_7 conservant V_3^6, relations entre V_3^6 et les espaces linéaires à plus d'une dimension, correspondances trilinéaires conjuguées, cas où deux des formes ou les trois formes de première espèce ont leurs supports confondus, éléments multiples, correspondances involutives et cycliques.

SUR LA COURBURE DES QUADRIQUES ET SUR LA SURFACE DES BINORMALES D'UNE COURBE À TORSION CONSTANTE

par R. DEAUX,

Professeur à l'Ecole des Mines de Mons

I.

1. — Sur une surface Σ d'équation

$$F(x, y, z) = 0, \tag{1}$$

le lieu Γ des points M où les rayons de courbure principaux R_1, R_2 ont entre eux une relation donnée

$$\Phi (R_1, R_2) = \text{constante} \tag{2}$$

s'obtient en tirant de l'équation aux courbures principales les fonctions

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \varphi (x, y, z) \quad , \quad \frac{1}{R_1 R_2} = \psi (x, y, z) \tag{3}$$

et en associant à (1) l'équation

$$E(x, y, z) = 0 \tag{4}$$

obtenue par élimination de R_1, R_2 entre (2) et (3).

Lorsque, Σ étant une quadrique non sphérique à centre

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \tag{5}$$

et k une constante, on choisit

$$\Phi = \frac{(R_1 + R_2)^4}{(R_1 R_2)^3} = \frac{1}{k^2}$$

l'équation (4) est

$$\frac{x^2 + y^2 + z^2 - (a^2 + b^2 + c^2)}{\frac{x^2}{a^4} + \frac{y^2}{b^4} + \frac{z^2}{c^4}} = \left(\frac{a^6 b^6 c^6}{k^2}\right)^{\frac{1}{4}} . \tag{6}$$

Dès lors, sur une quadrique à centre non sphérique Σ les lignes Γ le long de chacune desquelles l'expression

$$\Phi = \frac{(R_1 + R_2)^4}{(R_1 R_2)^3}$$

est constante sont les biquadratiques du faisceau dont les huit points de base se trouvent aux intersections non cycliques des génératrices isotropes de Σ avec la sphère de Monge de Σ. L'équation (6) prouve en effet que l'un quelconque de ces points, appartenant à la sphère de Monge d'équation

$$x^2 + y^2 + z^2 = a^2 + b^2 + c^2$$

et au cône

$$\frac{x^2}{a^4} + \frac{y^2}{b^4} + \frac{z^2}{c^4} = 0$$

qui projette du centre la ligne de contact de Σ avec la développable isotrope circonscrite, est le point de croisement de deux génératrices orthogonales situées dans un plan isotrope ; l'une de ces génératrices est donc isotrope.

2. — Afin de réduire les biquadratiques Γ (1) des lignes de courbure de Σ, calculons Φ par un second procédé. Soient d_1, d_2 les demi-axes de la section centrale parallèle au plan μ tangent en M ; d le demi-diamètre normal à μ ; d' la distance du centre au plan μ. Des relations

$$R_1 = \frac{d_1^2}{d'} \quad , \quad R_2 = \frac{d_2^2}{d'} \quad , \quad d_1\, d_2\, d' = a\, b\, c\, , \tag{7}$$

$$\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \frac{1}{d^2} = \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \tag{8}$$

on tire

$$\Phi = a^2 b^2 c^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} - \frac{1}{d^2}\right)^4, \tag{9}$$

et Φ est constant si d est constant. Donc, *une biquadratique Γ est le lieu des points de Σ où la normale est parallèle à un diamètre de longueur donnée.*

Corollaires. — 1° *La somme des inverses des carrés des axes de la section centrale parallèle au plan tangent en un point variable d'une biquadratique Γ est constante.*

2° *Le long de la biquadratique de contact d'une quadrique Σ avec la développable circonscrite dont les plans tangents sont normaux aux génératrices de Σ, on a*

$$\Phi = a^2 b^2 c^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}\right)^4,$$

relation déduite de (9) en supposant d infini.

Remarque : On peut rapprocher les lignes Γ des polhodies. Pour celles-ci les valeurs de

$$R_1R_2, \quad d', \quad d_1^2\, d_2^2$$

sont des constantes.

3. — Si M′ est un point de la ligne de courbure Γ′ découpée sur Σ par la quadrique Σ′

$$\frac{x^2}{a^2-\lambda}+\frac{y^2}{b^2-\lambda}+\frac{z^2}{c^2-\lambda}=1, \qquad (10)$$

le carré du demi-diamètre d de Σ normal au plan tangent en M′ à Σ′ est égal à λ ([1]).

Par suite une biquadratique Γ *est la ligne de contact de* Σ *avec les plans tangents parallèles à ceux d'une quadrique homofocale* $\overline{\Sigma'}$ *aux points de la ligne de courbure* ΣΣ′ (2).

Un point de base du faisceau des lignes Γ est sur le diamètre conjugué au plan isotrope contenant la génératrice isotrope de Σ passant par ce point ; ce diamètre contient un second point de base, et les cônes (Γ) projetant du centre de Σ les lignes Γ forment un faisceau ponctuel (1). *Dès lors, le faisceau des biquadratiques* Γ *comprend trois couples de coniques dans les plans diamétraux conjugués aux directions normales aux plans cycliques de* Σ*; un seul de ces couples peut être formé de coniques réelles* γ_1, γ_2.

Un cône (Γ) étant, par rapport au cône asympote de Σ le réciproque du supplémentaire du cône qui projette l'intersection de Σ et d'une sphère concentrique dont le carré du rayon est $d^2 = \lambda$ (2, 3), a pour équation

$$\frac{x^2}{a^6}\,(a^2-\lambda)+\frac{y^2}{b^6}\,(b^2-\lambda)+\frac{z^2}{c^6}\,(c^2-\lambda)=0 \qquad (11)$$

et se réduit à deux plans pour $\lambda = a^2$ ou b^2 ou c^2. Cette équation permet d'étudier la distribution des biquadratiques Γ sur Σ comme on le fait pour les polhodies ([2]), et, en tenant compte de (10), de comparer cette distribution à celle des lignes de courbure Γ′ correspondantes.

Corollaires. — 1° Soit R'_1 le rayon de courbure de la section normale de Σ tangente à Γ′ en M′. Si M′ décrit Γ′ on sait que

$$\Phi' = \frac{R'^3}{R'_1} = \text{constante}.$$

Des relations analogues à (7) et de $d' = d$ on tire

$$\Phi' = \frac{d^8}{a^2b^2c^2} \qquad (12)$$

([1]) Durrande, *Nouvelles Annales de Math.*, 362 (1863), d'après Chasles, *Rapport sur les progrès de la Géométrie*, 369. — Demartres, *Cours de Géométrie infinitésimale*, 399 (1913).

([2]) Voir p. ex. F. Bouny, *Leçons de Mécanique rationnelle*, **2**, 350-356.

et l'élimination de d entre (9), (12) donne *la relation entre l'invariant Φ' de la ligne de courbure Γ' et celui Φ de la ligne Γ correspondante.*

2° Les biquadratiques Γ marquent une involution sur toute génératrice de Σ et comprennent l'intersection de Σ avec la sphère de Monge ainsi que la ligne de contact avec la développable isotrope circonscrite (1). Donc *les dièdres formés par les plans tangents à un hyperboloïde à une nappe aux points de rencontre d'une génératrice avec la sphère de Monge et avec les lignes de contact* γ_1, γ_2 de Σ *et des cylindres circonscrits normaux aux plans cycliques ont les mêmes plans bissecteurs.*

4. — Une biquadratique Γ ne peut pas se décomposer en une droite et une cubique gauche car le sommet des cônes (Γ) est au centre de Σ (3). La conique γ_1 se décompose en deux génératrices de Σ si celles-ci sont normales à un plan cyclique ; Σ est alors orthogonale et γ_2 comprend les génératrices normales à la seconde famille de plans cycliques. On a dans ce cas

$$\frac{1}{a^2} = \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2}, \quad d = a.$$

Donc, *si sur un hyperboloïde orthogonal un point se déplace le long de l'une quelconque des quatre génératrices normales à un plan cyclique, la fonction Φ conserve la valeur constante*

$$\frac{b^2c^2}{a^6}$$

5. — Lorsque Σ est le paraboloïde d'équation

$$2z = \frac{x^2}{a} + \frac{y^2}{b}$$

l'équation (4) est

$$\frac{b^2x^2 + a^2y^2 + a^2b^2}{b\,x^2 + a\,y^2 + a\,b\,(a+b)} = (a\,b\,k^2)^{\frac{1}{4}} \tag{13}$$

et les biquadratiques Γ forment sur Σ un faisceau perspectif à celui des cylindres fournis par l'équation (13). Une génératrice de fait partie d'une ligne Γ si $a+b=0$; Σ est équilatère, les génératrices considérées sont celles de striction jointes aux génératrices à l'infini et $\Phi'=0$. Dès lors, *si la fonction Φ reste constante le long d'une génératrice g d'une quadrique, celle-ci est un hyperboloïde orthogonal dont un plan cyclique est normal à g si Φ n'est pas nulle* (4), *ou un paraboloïde ayant g pour génératrice de striction si Φ est nulle.*

II

6. — *La surface de vis à filet carré et la surface des binormales d'une courbe gauche à torsion constante sont les seules surfaces gauches réelles S sur lesquelles la ligne de contact l avec la développable isotrope circonscrite est une asymptotique.*

Soient L_1, L_2 les points de l sur une génératrice rectiligne g d'une surface réglée S ; O le point central, milieu de

$$L_1 L_2 = 2\, p\sqrt{-1},$$

p étant le paramètre de distribution.

Si l est asymptotique, sa tangente en L_1, caractéristique du plan isotrope λ_1 tangent à S en L_1, est isotrope et par suite normal à g ; l est donc trajectoire orthogonale des génératrices g, le segment $L_1 L_2$ et par suite p sont constants ; comme $L_1 O$ est constant, la ligne de striction (O) est trajectoire orthogonale des génératrices, donc aussi géodésique (O. Bonnet). Si (O) est une droite, S est le conoïde droit pour lequel p est constant c'est-à-dire l'hélicoïde à plan directeur. Si (O) est une courbe, forcément gauche sinon S serait un cylindre, g est sa binormale et son rayon de torsion, égal à p, est constant ; une telle surface S n'a pas de plan directeur.

Le raisonnement inverse prouve que sur les surfaces considérées, l est une asymptotique.

7. — *Les surfaces* S (**6**) *sont les seules pour lesquelles la quadrique osculatrice* Σ *le long d'une génératrice quelconque* g *a des plans cycliques normaux à* g. En effet, il doit exister sur Σ deux génératrices isotropes normales à g en L_1, L_2 et déterminant avec g les plans isotropes λ_1, λ_2 tangents à S en L_1, L_2 ; elles sont les caractéristiques de λ_1, λ_2 et en même temps tangentes asymptotiques, donc l est asymptotique.

Corollaires. 1° *L'hélicoïde à plan directeur est la seule surface réglée minima* (¹), car Φ devant être nulle pour toute génératrice g, Σ doit être un paraboloïde ayant g pour génératrice de striction (5) et la surface cherchée doit avoir un plan directeur, d'où le théorème (**6**).

2° *Les surfaces des binormales aux courbes à torsion constante sont les seules surfaces gauches pour lesquelles la fonction*

$$\Phi = \frac{(R_1 + R_2)^4}{(R_1 R_2)^3}$$

(¹) Les premières démonstrations *géométriques* ont été données par Olivier (*Géom. descr.*) et par Bonnet (*Mém. sur la théorie gén. des surf.*, 134, 136 [1848]) qui affirme, par erreur, que Meusnier avait établi cette proposition, due, on le sait, à Catalan (*Journ. de Math.*, 7, 203-211).

des rayons de courbure principaux a une valeur constante généralement non nulle le long d'une génératrice quelconque. Il faut en effet que la quadrique osculatrice soit un hyperboloïde orthogonal ou un paraboloïde équilatère (5).

8. — Nous ne considérons plus l'hélicoïde minimum. La ligne l (6) compte pour deux asymptotiques sur une surface S, et on connaît deux solutions de l'équation de RICCATI. Dès lors, *les asymptotiques d'une surface* S *se déterminent en général par une seule quadrature* ([1]). *Sur la normalie ayant pour directrice une asymptotique d'une surface pseudosphérique les asymptotiques s'obtiennent sans quadrature*, car l'axe de révolution est aussi une asymptotique.

9. — Si α, β sont les plans tangents à S aux points A, B où une génératrice variable g rencontre deux asymptotiques données a, b, on a (6)

$$(\alpha\,\beta\,\lambda_1\,\lambda_2) = (A\,B\,L_1\,L_2) = \text{constante}$$

et comme λ_1, λ_2 sont isotropes, l'angle $(\alpha\beta)$ est constant. Donc, *les binormales de deux asymptotiques* a, b *d'une surface* S *en deux points d'une génératrice variable font entre elles un angle constant.*

Les rayons de torsion τ_a, τ_b de a, b en A, B sont, si ω est le plan rectifiant en O à la ligne de striction (O) de S,

$$\tau_a = -\frac{AB}{\sin(\alpha\beta)}\,\frac{\cos(\omega\beta)}{\cos(\omega\alpha)}$$

$$\tau_b = -\frac{BA}{\sin(\beta\alpha)}\,\frac{\cos(\omega\alpha)}{\cos(\omega\beta)} \quad \text{(2)}.$$

Par suite, si une génératrice variable g de S rencontre a, b *en deux points* A, B *où les rayons de torsion sont* τ_a, τ_b *l'expression*

$$\frac{\overline{AB}^2}{\tau_a\,\tau_b}$$

a une valeur constante.

Si τ est le rayon de torsion de (O) en O, une formule de LAMARLE ([2]) donne

$$\tau_a = \tau + \frac{\overline{OA}^2}{\tau} \tag{14}$$

Les asymptotiques de S *ont donc même torsion sur une trajectoire orthogonale des génératrices.*

10. — La quadrique Σ osculatrice à S le long de $g = OA$ est en général un hyperboloïde orthogonal (7) contenant le cercle de courbure γ de

([1]) Voir ANTOMARI, *Appl. de la méth. ciném. à l'étude des propriétés des surf. réglées* (Thèse), p. 52.

([2]) Cl. SERVAIS, *Sur les surfaces réglées* (*Annaes do Porto* [1919]).

(O) en O et admettant pour centre le centre C de γ. Puisque Σ et S ont même indicatrice de Dupin en O, *la génératrice g′ de Σ de même système que g, et passant par le point O′ diamétralement opposé à O sur le cercle de courbure γ, est parallèle à la conjuguée harmonique de g par rapport à la droite rectifiante et à la tangente* O T *à* (O). *La tangente asymptotique en un point* A *de g s'appuie sur γ au point A″ tel que O′ A″ rencontre* O T *sur la parallèle à g′ menée par* A, car Σ peut être engendrée par deux faisceaux de plans orthogonaux d'axes g, g'.

Soient ρ le rayon de courbure de (O) en O ; φ l'angle de A A″ avec g Calculons Φ (7).

Des égalités

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{OA''}{OA} = \frac{2\rho}{OA}\sin(\omega\alpha) \qquad , \qquad \tau = -OA\cot(\omega\alpha)$$

on déduit

$$\operatorname{tg}^2\varphi = \frac{4\rho^2}{\overline{OA}^2 + \tau^2}$$

et, en tenant compte de (14),

$$\operatorname{tg}^2\varphi = \frac{4\rho^2}{\tau\,\tau_a}.$$

La formule d'Enneper $\tau_a^{\,2} = -R_1 R_2$

donne

$$\operatorname{tg}^4\varphi = -\frac{16\rho^4}{R_1 R_2 \tau^2}. \qquad (15)$$

Mais si dans

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}}{1-\operatorname{tg}^2\frac{\varphi}{2}}$$

on porte

$$\operatorname{tg}^2\frac{\varphi}{2} = -\frac{R_2}{R_1}$$

il vient

$$\operatorname{tg}^2\varphi = -\frac{4R_1R_2}{(R_1+R_2)^2} \qquad (16)$$

et de (15), (16) on tire

$$\Phi = -\frac{\tau^2}{\rho^4}.$$

Dès lors, *la surface des binormales d'une hélice circulaire est la seule surface gauche en chaque point de laquelle la fonction*

$$\Phi = \frac{(R_1+R_2)^4}{(R_1R_2)^3}$$

est une constante non nulle (7). (Beltrami et Dini ont prouvé que l'hyper-

boloïde réglé de révolution et les hélicoïdes sont les surfaces gauches W (voir DARBOUX, *Théorie générale des surfaces*, III, p. 314).

11. — Le centre de courbure géodésique A′ au point A de la trajectoire orthogonale (a) des génératrices g d'une surface S est le point de contact avec S du plan α' mené par g normalement au plan α tangent en A et on a

$$OA \,.\, OH' = -\tau^2 .$$

Donc, *les trajectoires orthogonales des génératrices* g *de* S *sont des cercles géodésiques.*

S'il existe sur une surface gauche S′ une trajectoire orthogonale (a) des génératrices qui est cercle géodésique, le lieu (a') des centres de courbure géodésique A′ jouit évidemment de la même propriété, et A A′ est une constante k. Si O, p sont le point central et le paramètre de distribution, de $OA \,.\, OA' = -p^2$ on tire

$$OA + \frac{p^2}{OA} = -k ,$$

relation qui n'a pas lieu pour une surface gauche quelconque (ANTOMARI, *loc. cit.*, p. 48). S'il existe sur S′ une troisième trajectoire (b) qui est cercle géodésique, il en existe une quatrième (b') ; la constance des segments AA′, AB, AB′ entraîne celle de OA, et la ligne de striction (O) est une trajectoire orthogonale. Par suite, *si trois trajectoires orthogonales des génératrices d'une surface gauche sont des cercles géodésiques, la surface est une surface* S (**6**).

12. — On va déterminer les lieux engendrés par les éléments fondamentaux associés à la trajectoire (a) (**11**) au point A lorsque ce point décrit g.

Dans l'hyperboloïde osculateur Σ (**10**) le diamètre conjugué aux plans cycliques normaux à g contient les centres des sections circulaires. Dès lors, *le lieu du centre de courbure normale* C_n *de* (a) *est la parallèle menée à la droite rectifiante de la ligne de striction* (O) *en* O *par le centre de courbure* C *de* (O).

On a (**10**)

$$\rho = AC_1 \cos(\omega\alpha), \qquad \tau = -\cot(\omega\alpha),$$

$$AC_n = \rho \sqrt{1 + \frac{\overline{OA}^2}{\tau^2}} .$$

Comme

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{AC_n} ,$$

et que la combinaison des formules d'Enneper et de Lamarle (**9**) donne

$$R_1 R_2 = -\left(\tau + \frac{\overline{OA}^2}{\tau}\right)^2$$

on connaît en A la courbure de toute section normale de S. On voit que *toute trajectoire orthogonale* (a) *est une ligne d'égale courbure totale ; elle est aussi ligne d'égale courbure moyenne sur un hélicoïde de binormales.*

Le symétrique A_1 de A par rapport à C_n est sur la génératrice g' de Σ (**10**). Le plan $\alpha' = g A_1$ étant tangent à Σ en A', la droite $A'A_1$ est génératrice de Σ. *L'axe de courbure* $A' C_n$ *de* (a) *engendre l'hyperboloïde orthogonal* Σ_n *qui correspond à* Σ *dans la projectivité gauche de coefficient 2 et ayant pour axes g et la droite à l'infini d'un plan normal à g.*

La binormale de (a) en A étant parallèle à $A'C_n$ marque sur g et sur la conique à l'infini de Σ_n deux ponctuelles projectives dont les supports sont incidents mais qui n'ont pas d'élément uni. *La binormale de* (a) *en* A *engendre une surface cubique de Cayley ayant g pour droite double,* O *pour point cuspidal, et un cône directeur orthogonal.*

Le plan osculateur à (a) *en* A *est osculateur à une parabole gauche* (P_3) *ayant g pour rayon focal, car il est normal à* $A' C_n$, et marque dans le plan à l'infini un faisceau du second ordre projectif au système réglé qu'engendre $A' C_n$.

La projection orthogonale C_a de A sur $A' C_n$ est le centre de courbure de (a) en A. Le faisceau de plans engendré par g A_1 est projectif au faisceau du troisième ordre (P_3) que décrit le plan osculateur à a en A ; ces faisceaux ont pour éléments unis les plans isotropes passant par g. Dès lors, *la normale* $A C_a$ *à* (a) *en* A *engendre un paraboloïde contenant* g, *et le centre de courbure* C_a *décrit la cubique-gauche commune à ce paraboloïde et à l'hyperboloïde* Σ_n.

SYSTÈMES D'ÉQUATIONS AUX DÉRIVÉES PARTIELLES DU PREMIER ORDRE, RÉSULTANT DE LA CONSIDÉRATION D'ENSEMBLES DE TRANSFORMATIONS

par L. FOUARGE,

Professeur à l'Université de Liége

Si le produit de deux transformations quelconques appartenant à un ensemble ∞^r, fini et continu :

$$z'_\nu = f_\nu \ (z_1 \cdots z_n , a_1 \cdots a_r), \quad \nu = 1 \ldots n$$

est exprimé par des fonctions dépendant de $r+s<2r$ paramètres essentiels, les z'_ν satisfont, ainsi que nous l'avons établi dans une note publiée précédemment [1], à un système d'équations aux dérivées partielles du premier ordre, linéaires, généralisant le système fondamental de Sophus Lie, (cas de $s=0$) :

$$\frac{\partial z'_\nu}{\partial a_k} = \sum_{j=1}^{r} \psi_{jk} \, (a_1 \cdots a_r) \ \xi_{j\nu} \, (z'_1 \cdots z'_n), \quad k = 1 \cdots r, \ \nu = 1 \cdots n .$$

Nous allons indiquer ici des résultats analogues à ceux qui viennent d'être rappelés, relatifs au cas où l'on effectue successivement deux transformations provenant non plus d'un même ensemble mais de deux ensembles distincts.

§ I. — Soient

$$f_i(z_1 \ldots z_n, a_1 \ldots a_r), \, i=1 \ldots n$$

et

$$F_i(y_1 \ldots y_n, b_1 \ldots b_t), i=1 \ldots n$$

des fonctions des variables complexes $z_1, \ldots z_n$, $a_1, \ldots a_r$ *et* $y_1 \ldots y_n \, b_1 \ldots b_t$; à ces variables sont associés des domaines $(Z) \equiv (Y)$, $(\mathcal{A})$ et $(\mathcal{B})$ tels que les fonctions $f_1(z, a) \ldots f_n(z, a)$ sont holomorphes dans $[(Z) \ (\mathcal{A})]$ et que $F_1 \ (y, b) \ldots F_n \ (y, b)$ sont holomorphes dans $[(Z) \ (\mathcal{B})]$. On a en outre

$$d = \frac{\partial \ (f_1 \ \cdots \ f_n)}{\partial \ (z_1 \ \cdots \ z_n)} \neq 0$$

[1] *Sur les ensembles continus, finis de transformations* (*Mém. de la Soc. R. des Sciences de Liége*, III, **14**).

dans $[(Z)\ (\mathfrak{A})]$ et

$$D = \frac{\partial (F_1 \cdots F_n)}{\partial (y_1 \cdots y_n)} \neq 0$$

dans $[(Z)\ (\mathfrak{B})]$. Nous considèrerons le f_i et les F_i seulement dans les domaines dont il vient d'être question.

En supposant que $a_1 \ldots a_r$ sont des paramètres essentiels pour les fonctions $f_1(z, a) \ldots f_n(z, a)$, les égalités

$$z'_1 = f_i(z_1 \ldots z_n, a_1 \ldots a_r), \quad i = 1 \ldots n \tag{1}$$

définissent un ensemble de transformations ∞^r fini et continu; de même en posant

$$y'_i = F_i(y_1 \ldots y_n, b_1 \ldots b_t), \quad i = 1 \ldots n \tag{2}$$

on obtient un ensemble de transformations ∞^t fini et continu pourvu que $b_1 \ldots b_t$ soient des paramètres essentiels pour les $F_i(y, b)$.

Admettons encore que les points $(z'_1 \ldots z'_n)$ et $(y'_1 \ldots y'_n)$ sont intérieurs à (Z_i) quand $(z_1 \ldots z_n)$ et $(y_1 \ldots y_n)$ appartiennent respectivement à des domaines (Z') et (Y') compris dans (Z). Dans les domaines respectifs $[(Z')\ (\mathfrak{A})\ (\mathfrak{B})]$ et $[(Y')\ (\mathfrak{A})\ (\mathfrak{B})$, les seconds membres des équations

$$z''_i = F_i[f_1(z, a) \ldots f_n(z, a)\,;\, b_1 \ldots b_t], \quad i = 1 \ldots n \tag{3}$$

et

$$y_i'' = f_i[F_1(y, b) \ldots F_n(y, b)\,;\, a_1 \ldots a_r] \quad i = 1 \ldots n \tag{4}$$

sont des fonctions holomorphes. Les unes définissent le produit d'une transformation quelconque de l'ensemble (1) par une transformation quelconque de l'ensemble (2) ; les autres, le produit d'une transformation de (2) par une transformation de (1).

§ II. — Les fonctions

$$F_i[f_1(z, a) \ldots f_n(z, a)\,;\, b_1 \ldots b_t] \quad i = 1 \ldots n$$

s'expriment toutes au moyen de $s < r + t$ fonctions de $a_1 \ldots a_r, b_1 \ldots b_t$ indépendantes entre elles, analytiques dans le voisinage de tout point $(a_1^\circ \ldots b_t^\circ)$ de $[(\mathfrak{A})\ (\mathfrak{B})]$:

$$c_1 = c_1(a_1 \cdots a_r,\ b_1 \cdots b_t),$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$c_s \equiv c_s(a_1 \cdots a_r,\ b_1 \cdots b_t).$$

Ainsi, on aura

$$F_i[f(z, a), b] \equiv \Phi_i(z_1 \cdots z_n\,;\, a_1 \cdots a_r\,;\, b_1 \cdots b_t)$$
$$= \Theta_i(z_1 \cdots z_n\,;\, c_1 \cdots c_s), \quad i = 1 \cdots n.$$

Nous nous occupons du cas où s est plus petit que $r+t$; le nombre s ne peut du reste être inférieur à la plus grande des deux quantités r et t.

Cela étant, le mode de raisonnement employé dans la note précitée [1] permet de démontrer le résultat suivant.

La matrice

$$\left\| \begin{matrix} \frac{\partial c_1}{\partial a_1} \cdots \frac{\partial c_1}{\partial a_r} & \frac{\partial c_1}{\partial b_1} \cdots \frac{\partial c_1}{\partial b_t} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ \frac{\partial c_s}{\partial a_1} \cdots \frac{\partial c_s}{\partial a_r} & \frac{\partial c_s}{\partial b_1} \cdots \frac{\partial c_s}{\partial b_t} \end{matrix} \right\|$$

a pour caractéristique le nombre s. *Elle contient un déterminant d'ordre* s *non nul dans lequel est inclus le tableau rectangulaire*

$$\begin{matrix} \frac{\partial c_1}{\partial b_1} \cdots \frac{\partial c_1}{\partial b_t} \\ \cdots\cdots \\ \frac{\partial c_s}{\partial b_1} \cdots \frac{\partial c_s}{\partial b_t} \end{matrix}$$

On peut admettre en limitant convenablement le domaine $[(\mathcal{A}), (\mathcal{B})]$ que le déterminant dont il s'agit est

$$C = \frac{\partial \ (c_1 \, c_2 \, \ldots \, c_s)}{\partial \, (a_{r+t-s+1}, \, a_{r+t-s+2} \cdots a_r \, b_1 \cdots b_t)} \neq 0 \ .$$

§ III. — L'étude des fonctions intervenant dans les formules (4) conduit à des conclusions du même genre. On aura

$$f_i[F(y, b), a] = \Psi_i(y_1 \ldots y_n; \ b_1 \ldots b_t; a_1 \ldots a_r)$$
$$= \chi_i \, (y_1 \ldots y_n \, ; c_1' \ldots c'_s \,), \, i = 1 \ldots n$$

moyennant les notations :

$$c'_l = c'_l \, (b_1 \ldots b_t \, ; \, a_1 \ldots a_r),$$
$$l = 1 \ldots s'.$$

Ce nombre s' sera supposé inférieur à $r+t$. On montrera encore que dans la matrice

$$\left\| \begin{matrix} \frac{\partial c'_l}{\partial a_1} \cdots \frac{\partial c'_l}{\partial a_r} & \frac{\partial c'_l}{\partial b_1} \cdots \frac{\partial c'_l}{\partial b_t} \\ l = 1 \ldots s' \end{matrix} \right\| \qquad (5)$$

il existe un déterminant d'ordre s' non nul contenant le tableau rectangulaire

$$\begin{matrix} \frac{\partial c'_l}{\partial a_1} \cdots \frac{\partial c'_l}{\partial a_r} \\ l = 1 \ldots s'. \end{matrix}$$

[1] *Loc. cit.*, pp. 7 et suivantes.

Nous prendrons, par exemple

$$C' = \frac{\partial\,(c'_1\, c'_2 \ldots c'_{s'}\quad)\,.}{\partial\,(a_r \ldots a_1;\, b_{r+t-s'+1} \ldots\, b_t)} \neq 0.$$

§ IV. — Posons $r+t-s=\sigma$. Le système complet qui résulte de l'annulation des mineurs d'ordre $s+1$ de la matrice

$$\left\| \begin{array}{ccccccc} \frac{\partial \Phi}{\partial a_1} & \cdots & \frac{\partial \Phi}{\partial a_r} & \frac{\partial \Phi}{\partial b_1} & \cdots & \frac{\partial \Phi}{\partial b_t} \\ \frac{\partial c_1}{\partial a_1} & \cdots & \frac{\partial c_1}{\partial a_r} & \frac{\partial c_1}{\partial b_1} & \cdots & \frac{\partial c_1}{\partial b_t} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial c_s}{\partial a_1} & \cdots & \frac{\partial c_s}{\partial a_r} & \frac{\partial c_s}{\partial b_1} & \cdots & \frac{\partial c_s}{\partial b_t} \end{array} \right\|$$

comprend σ équations linéairement indépendantes. Puisque le déterminant C est différent de zéro, ce système complet est équivalent au système jacobien

$$\left.\frac{\partial \Phi}{\partial a_k} + \sum_{\tau=1}^{r-\sigma} \lambda_{\tau k}\,(a, b)\,\frac{\partial \Phi}{\partial a_{\sigma+\tau}} + \sum_{j=1}^{t} \lambda_{s-t+j,\,k}\,(a, b)\,\frac{\partial \Phi}{\partial b_j} = 0 \right\} \qquad (6)$$

$$k = 1 \ldots \sigma\,,$$

où les

$$\lambda_{\tau k}\,(a, b)$$

et les $\lambda_{s-t+j,k}(a, b)$ sont des fonctions rationnelles des mineurs d'ordre s de la matrice (5). Si l'on écrit les identités exprimant que les

$$\Phi_i(z, a, b) = F_i[f(z, a)\,,\, b]$$

sont des intégrales des équations (6), on observe que les fonctions

$$z_h' = f_h(z_1 \ldots z_n\ ;\ a_1 \ldots a_r)$$
$$h = 1 \ldots n$$

satisfont au système d'équations linéaires, aux dérivées partielles du premier ordre :

$$\sum_{h=1}^{n} \frac{\partial F_i(z', b)}{\partial z'_h} \left\{ \frac{\partial z'_h}{\partial a_k} + \sum_{\tau=1}^{r-\sigma} \lambda_{\tau k}\,\frac{\partial z'_h}{\partial a_{\sigma+\tau}} \right. + \sum_{j=1}^{t} \lambda_{s-t+j,\,k}\,\frac{\partial F_i\,(z', b)}{\partial b_j} = 0, \Bigg\} \quad (7)$$

$$k = 1 \ldots \sigma\,;\ i = 1 \ldots n.$$

Réciproquement, soit donné le système d'équations (7) dans les conditions suivantes :

α) Les $\dfrac{\partial F_i(z', b)}{\partial z'_h}$, $\dfrac{\partial F_i(z', b)}{\partial b_j}$ sont des dérivées partielles de fonctions $F_i(z_1' \dots z_n'; b_1 \dots b_t)$ holomorphes dans le domaine $[(\mathcal{Z})\ (\mathcal{B})]$ et définissant un ensemble de transformations ∞^t fini et continu ;

β) Les

$$\lambda_{k\tau}(a, b), \lambda_{s-t+j,k}(a, b)$$

sont holomorphes dans le domaine $[(\mathcal{A})\ (\mathcal{B})]$.

γ) Il existe des fonctions

$$z'_h = f_h(z_1 \dots z_n; a_1 \dots a_r)$$
$$h = 1 \dots n,$$

holomorphes et indépendantes entre elles dans le domaine $[(\mathcal{Z})\ (\mathcal{A})]$, contenant r paramètres essentiels, qui vérifient les équations (7) quand le point $(z_1 \dots z_n)$ appartient à un certain domaine $(\mathcal{Z}')$ intérieur à $(\mathcal{Z})$.

On montre [1] alors que les fonctions holomorphes dans $[(\mathcal{Z}')\ (\mathcal{A})(\mathcal{B})]$:

$$\Phi_i(z_1 \dots z_n; a_1 \dots a_r; b_1 \dots b_t) = F_i[f(z, a), b],$$
$$i = 1 \dots n$$

satisfont à un système complet du type (6) comprenant au moins σ équations linéairement indépendantes. Ainsi ces Φ_i dépendront de $s = r + t - \sigma$ paramètres essentiels au plus.

§ V. — Les considérations développées au paragraphe III permettent de même, quand les fonctions

$$f_i[F(y, b), a], i = 1 \dots n \tag{8}$$

dépendent de $s' = r + t - \sigma'$ paramètres essentiels au plus, d'écrire le système d'équations

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{h=1}^{n} \frac{\partial f_i(y', a)}{\partial y'_h} \left\{ \frac{\partial y'_h}{\partial b_k} + \sum_{\tau=1}^{t-\sigma'} \mu_{\tau k}(a, b) \frac{\partial y'_h}{\partial b_{\sigma'+\tau}} \right\} \\ &\qquad + \sum_{j=1}^{r} \mu_{s'-r+j,k}(a, b) \frac{\partial f_i(y', a)}{\partial a_j} = 0, \\ &\qquad\qquad k = 1 \dots \sigma', \ i = 1 \dots n \end{aligned}\right\} \tag{7'}$$

dont les

$$y_h' = F_h(y_1 \dots y_n; b_1 \dots b_t), i = 1 \dots n \tag{2}$$

sont des intégrales. Inversement l'existence d'un système d'équations de la forme (7'), vérifiées par les fonctions (2) suffit pour que dans la transformation produit (8) le nombre de paramètres essentiels ne dépasse pas s'.

[1] *Loc. cit.*, p. 20.

On déduit de là cet énoncé :

Théorème I. — Soit

$$y_i' = F_i(y_1 \dots y_n, b_1 \dots b_t),$$
$$i = 1 \dots n$$

un ensemble ∞^t *de transformations fini et continu, défini dans le domaine* $[(Z)\ (\mathcal{B})]$*; soit donné aussi, le système d'équations aux dérivées partielles du premier ordre*

$$\sum_{h=1}^{n} \frac{\partial F_i(z', b)}{\partial z'_h} \left\{ \frac{\partial z'_h}{\partial a_k} + \sum_{\tau=1}^{r-\sigma} \lambda_{\tau k}(a, b) \frac{\partial z'_h}{\partial a_{\sigma+\tau}} \right\}$$
$$+ \sum_{j=1}^{t} \lambda_{s-t+j,k}(a, b) \frac{\partial F_i(z', b)}{\partial b_j} = 0$$
$$k = 1, \dots \sigma\ ;\ i = 1 \dots n,$$

les $\lambda_{\tau k}(a, b)$ *et les* $\lambda_{s-t+j,k}(a, b)$ *étant holomorphes dans* $[(\mathcal{A}), (\mathcal{B})]$. *Si les fonctions holomorphes dans* $[(Z)\ (\mathcal{A})]$

$$z_h' = f_h(z_1 \dots z_n; a_1 \dots a_r)$$
$$h = 1 \dots n$$

déterminent un ensemble ∞^r *de transformations et vérifient les équations proposées quand* $(z_1 \dots z_n)$ *est intérieur à un certain domaine* (Z') *compris dans* (Z), *les fonctions*

$$z_i'' = F_i[f(z, a), b], i = 1 \dots n$$

[obtenues en effectuant sucessivement une transformation de l'ensemble (1) et une transformation de l'ensemble (2)], sont holomorphes dans $[(Z'\ (\mathcal{A})\ (\mathcal{B})]$ *et dépendent de* $s = r + t - \sigma$ *paramètres essentiels au plus.*

On peut encore énoncer la proposition suivante.

Théorème II. — Les ensembles de transformations (1) et (2) étant donnés respectivement dans les domaines $[(Z)\ (\mathcal{A})]$ *et* $[(Z)\ (\mathcal{B})$, *supposons qu'il existe un domaine* (Y') *compris dans* (Z) *tel que les fonctions*

$$y_i'' = f_i[F(y, b), a],\ i = 1 \dots\ n,$$

soient holomorphes dans $[(Y')\ (\mathcal{B})\ (\mathcal{A})]$.

Si ces fonctions dépendent de $s' = r + t - \sigma'$ *paramètres essentiels au plus les fonctions*

$$\zeta_i = z_i' = f_i(z_1 \dots z_n; a_1 \dots a_r)$$
$$i = 1 \dots n$$

satisfont aux équations fonctionnelles

$$\left.\begin{array}{l}\displaystyle\sum_{h=1}^{n}\left[\frac{\partial\zeta(y',a)}{y'_h}\right]_{y'=F(y,b)}\left\{\frac{\partial F_h(y,b)}{\partial b_k}+\sum_{\tau=1}^{t-\sigma'}\mu_{\tau k}(a,b)\frac{\partial F_h(y',b)}{\partial b_{\sigma'+\tau}}\right\} \\ \displaystyle\qquad+\sum_{j=1}^{r}\mu_{s'-r+j,k}(a,b)\left[\frac{\partial\zeta(y',a)}{\partial a_j}\right]_{y'=F(y,b)}=0 \\ \qquad k=1\ldots\sigma'.\end{array}\right\}\quad(8)$$

Dans les expressions (8) les

$$\mu_{\tau k} \text{ et } \mu_{s'-r+j,k}$$

sont holomorphes dans $[(\mathcal{A})\ (\mathcal{B})]$.

Pour s'assurer de la validité du théorème II, on écrira les identités exprimant que les relations fonctionnelles (8) sont satisfaites. De ces identités, on conclut immédiatement à l'existence des équations aux dérivées partielles (7′) dont les $F_i(y,b)$ sont solutions. On se trouve ainsi dans les conditions exigées pour que les fonctions

$$f_i[F(y,b),a]$$

dépendent de $s'=r+t-\sigma'$ paramètres essentiels au plus.

Remarque. — Les réciproques de ces énoncés sont exactes.

Exemple : Soient

$$\begin{array}{ll} z_1'=a_1 z_1+a_2 z_2 & y_1'=\dfrac{b_1}{y_1}+b_2 \\ & ; \\ z_2'=a_3 z_1+a_4 z_2 & y_2'=\dfrac{b_3}{y_2}+b_1\end{array}$$

On a $r=t=4$; il vient $\sigma=\sigma'=2$.

On obtient les équations

$$\frac{\partial z_1'}{\partial a_1}+\frac{a_2}{a_1}\frac{\partial z_1'}{\partial a_2}-\frac{z_1'}{a_1}=0,\quad \frac{\partial z_1'}{\partial a_3}=0,$$
$$\frac{\partial z_2'}{\partial a_3}+\frac{a_4}{a_3}\frac{\partial z_2'}{\partial a_4}-\frac{z_2'}{a_3}=0,\quad \frac{\partial z_2'}{\partial a_1}=0$$

et

$$\frac{\partial\zeta(y_1',y_2',a_1\cdots a_4)}{\partial y_1'}\left(\frac{1}{y_1}+\frac{b_2}{b_1}\right)-\frac{a_1}{b_1}\frac{\partial\zeta(y_1'\cdots)}{\partial a_1}-\frac{a_3}{b_1}\frac{\partial\zeta(y_1'\cdots)}{\partial a_3}=0,$$
$$\frac{\partial\zeta(y_1'\cdots)}{\partial y_2'}\cdot\left(\frac{1}{y_2}+\frac{b_4}{b_3}\right)-\frac{a_2}{b_3}\frac{\partial\zeta(y_1'\cdots)}{\partial a_2}-\frac{a_4}{b_3}\frac{\partial\zeta(y_1'\cdots)}{\partial a_4}=0.$$

Dans ces relations il faut remplacer après dérivations, les lettres y_1' et y_2' par

$$\frac{b_1}{y_1}+b_2 \text{ et } \frac{b_3}{y_2}+b_4.$$

Ces équations fonctionnelles sont vérifiées par

$$\zeta_1=a_1 y_1'+a_2 y_2',$$
$$\zeta_2=a_3 y_1'+a_4 y_2'.$$

REMARQUE SUR LES SURFACES AYANT MÊMES QUADRIQUES DE LIE

par Lucien GODEAUX, *Professeur à l'Université de Liége*

Les couples de surfaces ayant mêmes quadriques de Lie ont été étudiées par M. A. DEMOULIN [1] et par nous [2]. Considérons une surface (x) engendrée par un point x dont les coordonnées homogènes x_1, x_2, x_3, x_4 satisfont au système d'équations aux dérivées partielles complètement intégrable

$$x^{20} + 2\,bx^{01} + c_1 x = 0,$$
$$x^{02} + 2\,ax^{10} + c_2 x = 0,$$

où nous posons

$$x^{ik} = \frac{\partial^{\,i+k} x}{\partial u^i \,\partial v^k},$$

u et v étant les paramètres des asymptotiques de la surface.

Soit Q l'hyperquadrique de l'espace linéaire à cinq dimensions qui représente les droites de l'espace et soient U, V, les points de Q qui représentent les tangentes asymptotiques de la surface (x) au point x. On a

$$U^{10} + 2\,b\,V = 0, \quad V^{01} + 2\,a\,U = 0$$

et les points U, V sont consécutifs dans une suite de Laplace autopolaire par rapport à Q. Reprenons les mêmes notations que dans nos travaux cités plus haut. U_1, U_2,... sont les transformés successifs de Laplace de U dans le sens des v, V_1, V_2,... ceux de V dans le sens des u. On a :

$$2\,U_3 + 2\,U_2(\log b^3 h_1^2 h_2)^{01} + 2\,U_1[\beta + (\log bh_1)^{02} + (\log bh_1)^{01}(\log b^2 h_1)^{01}]$$
$$+ [\beta^{01} + 2\,\beta(\log b)^{01}]\,U + 4\,a\alpha V + 4\,a V_1(\log ak_1)^{10} + 4\,a V_2 = 0,$$

$$2\,V_3 + 2\,V_2(\log a^3 k_1^2 k_2)^{10} + 2\,V_1[\alpha + (\log ak_1)^{20} + (\log ak_1)^{10}(\log a^2 k_1)^{10}]$$
$$+ [\alpha^{10} + 2\,\alpha(\log a)^{10}]\,V + 4\,b\beta U + 4\,b U_1(\log bh_1)^{01} + 4\,b U_2 = 0,$$

Si les quadriques de Lie de la surface (x) n'ont que deux points carac-

(1) A. DEMOULIN, *Sur la quadrique de Lie*, (*C. R.*, **147**, 493-496 [1908]). — *Sur les surfaces dont les quadriques de Lie n'ont que deux points caractéristiques*, (*Idem*, **179**, 20-22 [1924]).

(2) L. GODEAUX, *Sur les lignes asymptotiques d'une surface et l'espace réglé*, (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 812-826 [1927] ; 31-41 [1928]). — *Sur les surfaces ayant mêmes quadriques de Lie*, (*Idem*, 1928, pp. 158-186 ; 345-348). — *Sur les congruences de M. Goursat et les surfaces ayant mêmes quadriques de Lie*, (*Idem*, 455-466 [1928]).

téristiques, la suite de Laplace envisagée a la période six et réciproquement. On doit donc avoir :

$$U_3 + 2 a V_2 = 0, \quad V_3 + 2 b U_2 = 0,$$

$$\alpha = 2(\log a)^{20} + \overline{(\log a)^{10}}^2 + 4 (b^{01} + c_1) = 0,$$

$$\beta = 2 (\log b)^{02} + \overline{(\log b)^{01}}^2 + 4 (a^{10} + c_2) = 0,$$

d'où l'on déduit

$$(\log b h_1)^{01} = 0, \quad (\log a k_1)^{10} = 0.$$

Ce sont les conditions nécessaires et suffisantes pour que les deux relations précédentes soient des identités. On retrouve ainsi les conditions nécessaires et suffisantes pour que les quadriques de Lie de la surface (x) n'aient que deux points caractéristiques.

LES INVOLUTIONS AYANT UN NOMBRE FINI DE POINTS UNIS APPARTENANT À UNE SURFACE ALGÉBRIQUE

par Lucien GODEAUX,

Professeur à l'Université de Liége

---

1. — Considérons un système linéaire, triplement infini, de surfaces algébriques

$$\lambda_1 \varphi_1 (x_1, x_2, x_3, x_4) + \lambda_2 \varphi_2 + \lambda_3 \varphi_3 + \lambda_4 \varphi_4 = 0$$

et supposons que ce système soit de degré supérieur à l'unité. Il n'est par suite pas composé au moyen d'un faisceau de surfaces, ni d'une congruence linéaire de courbes. Les équations

$$\frac{X_1}{\varphi_1} = \frac{X_2}{\varphi_2} = \frac{X_3}{\varphi_3} = \frac{X_4}{\varphi_4} \qquad (1)$$

définissent une correspondance rationnelle entre les espaces (X) et (x). A une surface irréductible Φ,

$$\Phi (X_1, X_2, X_3, X_4) = 0,$$

la transformation (1) fait correspondre une surface

$$\Phi (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4) = 0.$$

Soit F,

$$F(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0$$

une composante irréductible de cette surface qui ne soit pas fondamentale pour la transformation (1). Parmi les points x que (1) fait correspondre à un point de X de Φ, un certain nombre, n, appartiennent à F et on a une correspondance rationnelle (1, n) entre les surfaces Φ et F. Les groupes de n points de F qui correspondent aux points de Φ forment une involution I_n, d'ordre n. Un point de la surface F appartient en général à un seul groupe de I_n. La surface Φ est appelée image de I_n.

Parmi les points de Φ, il en est auxquels correspondent des groupes de I_n dont les n points ne sont pas distincts ; ces points de Φ sont appelés points de diramation de la correspondance entre Φ et F. Un point de F qui compte pour plusieurs dans le groupe de I_n auquel il appartient est appelé point de coïncidence ou point uni de I_n. En général, les points de diramation et par suite les points unis de I_n sont en nombre simplement infini, mais ils peuvent également être en nombre fini. C'est ce dernier cas que nous avons étudié.

2. — C'est la théorie des surfaces hyperelliptiques qui a fourni les premiers exemples d'involutions n'ayant qu'un nombre fini de points unis. Dans leurs recherches sur ces surfaces (1), MM. Enriques et Severi d'une part, MM. Bagnera et De Franchis d'autre part, ont montré que toute surface hyperelliptique est l'image d'une involution appartenant à une surface de Jacobi, représentant les couples de points d'une courbe de genre deux. Si l'on fait abstraction des involutions rationnelles ou référables à des réglées (c'est-à-dire dont les images sont des surfaces rationnelles ou référables, par des transformations birationnelles, à des surfaces réglées), toutes ces involutions ne présentent qu'un nombre fini de points unis. La raison en est un théorème de M. Enriques (2) d'après lequel, si Φ est l'image d'une involution quelconque, appartenant à une surface F, au système canonique de Φ correspond sur F un système dont les courbes, augmentées de la courbe lieu des points unis, sont des courbes canoniques de F. Or, pour la surface de Jacobi, on a $p_g=1$ et la courbe canonique est d'ordre zéro; par suite, on ne peut avoir qu'un nombre fini de points unis.

MM. Enriques et Severi ont basé leurs recherches sur le théorème fondamental suivant : Une involution n'ayant qu'un nombre fini de points unis appartenant à une surface de Jacobi, est engendrée par un groupe fini de transformations birationnelles de la surface en elle-même. En d'autres termes, si l'involution est d'ordre n, il existe n transformations birationnelles de la surface en elle-même, $T_1=1, T_2, \ldots, T_n$ qui, appliquées à un

(1) Enriques et Severi, *Intorno alle superficie iperellittiche*, Rend. R. Accad. Lincei (1907-1908); *Mémoire sur les surfaces hyperelliptiques*, Acta Mathematica, **32** et **33** (1909). — Bagnera et De Franchis, *Sopra le superficie che hanno le coordinate del punto generico esprimabili con funzioni meromorfe quadruplamente periodiche di due parametri*, Rend. Lincei (1907); *Le superficie algebriche le quali ammettono una rapresentazione parametrica mediante funzioni iperellittiche*, Memorie Soc. Ital. delle Scienze (1908) ; *Le nombre ρ de M. Picard pour les surfaces hyperelliptiques et pour les surfaces irrégulières de genre zéro*, Rend. Circolo matem. di Palermo (1910).

(2) Enriques, *Rireche di geometria sulle superficie algebriche*, Memorie R. Accad. di Torino (1893).

point de la surface, fournissent les n points du groupe contenant le point envisagé.

3. — Le théorème précédent a été étendu par M. ENRIQUES ([3]) aux surfaces de genres un ($p_a = P_4 = 1$), c'est-à-dire aux surfaces qui peuvent, par des transformations birationnelles, se ramener à une surface d'ordre $2\pi - 2$, à sections de genre π, de l'espace à π dimensions. Nous avons ensuite entrepris la classification des involutions de genres un appartenant à une surface de genre un. Supposant n premier, nous avons montré que l'on a $n = 2, 3$ [1, 2] ([4]). Ensuite, nous sommes parvenus à établir que les valeurs possibles de n sont 2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 16 et à construire des surfaces images des différentes involutions obtenues [3, 6, 7].

Les points de diramation des surfaces images sont des points doubles, coniques ou singuliers ; ils présentent précisément les mêmes singularités que dans le cas des surfaces de genres un représentant des involutions appartenant à une surface de Jacobi, cas étudié par MM. Enriques et Severi dans leurs travaux cités plus haut.

Un autre problème se présente alors : Déterminer dans quelles conditions une surface de genres un est l'image d'une involution appartenant à une surface de genres un. Chaque involution doit être traitée séparément et c'est ce que nous avons fait dans la plupart des cas [7, 18, 28, 35, 36, 37, 46] ; nous avons en particulier considéré les surfaces images du quatrième ordre.

4. — Nous avons pu aborder par des méthodes analogues l'étude des correspondances rationnelles entre deux surfaces de genres zéro et de bigenre un ($p_a = p_g = 0, P_6 = 1$), c'est-à-dire entre deux surfaces du sixième ordre passant doublement par les arêtes d'un tétraèdre ([5]). Tout d'abord, nous avons pu étendre aux surfaces en question le théorème fondamental de MM. Enriques et Severi, et démontrer que les facteurs premiers de n ne peuvent être que 2 et 3 [4, 5]. Nous avons ensuite démontré que l'on a $n = 2, 3, 4, 6$ et 8, et construit les surfaces images [9, 17]. En même temps, nous avons déterminé les conditions nécessaires et suffisantes pour qu'une surface de genres zéro, bigenre un, représente une involution appartenant à une surface de mêmes caractères.

5. — Le théorème de MM. Enriques et Severi est encore applicable aux correspondances rationnelles entre une surface de genres zéro, bigenre un et une surface de genres un. Nous avons montré que l'on a $n = 2, 4, 6, 8$, 12 ou 16 [21] et résolu les problèmes analogues à ceux qui ont été signalés plus haut.

([3]) ENRIQUES, *Le superficie di genere uno*, Rend. R. Accad. Bologna (1908).

([4]) Les nombres entre crochets renvoient à la bibliographie placée à la fin de de ce travail.

([5]) ENRIQUES, *Introduzione alla geometria sopra le superficie algebriche*, Memorie Soc. italiana delle Scienze (1896); *Sopra le superficie algebriche di bigenere uno*, Memorie Soc. italiana delle Scienze (1906). — FANO, *Superficie algebriche di genere zero e bigenere uno e loro casi particolari*, Rend. Circolo Matem. di Palermo (1910).

M. Enriques a établi [6] que toute surface de genres zéro, bigenre un, est l'image d'une involution privée de points unis appartenant à une surface de genres un. Nous avons montré [12] que cette dernière surface possède deux autres involutions d'ordre deux, l'une de genres un, l'autre rationnelle. Nous sommes revenus à diverses reprises sur ces questions et avons en particulier établi les équations de la correspondance dont il vient d'être question [40, 41].

Le théorème de M. Enriques qui vient d'être rappelé donne la raison pour laquelle le diviseur de Severi d'une surface de genres zéro, bigenre un, est égal à deux. Par la considération des involutions privées de points unis appartenant à une surface quelconque, nous avons pu construire des surfaces dont le diviseur de Severi est un nombre quelconque [16, 19].

6. — Nous avons réussi à étendre le théorème de MM. Enriques et Severi aux surfaces algébriques quelconques et établir que : *Une involution n'ayant qu'un nombre fini de points unis, appartenant à une surface algébrique, est engendrée par un groupe de transformations birationnelles de la surface en elle-même* [11].

Les premières études à faire au sujet de ces involutions concernent les involutions d'ordre premier. Envisageons donc une involution I_p, d'ordre premier p, appartenant à une surface algébrique F, et soient T la transformation birationnelle de F génératrice de I_p, Φ une surface image de I_p. Si P est un point uni de I_p (supposé simple pour F, ce qui n'est pas une restriction), la transformation T détermine, dans le faisceau des tangentes à F en P, soit l'identité, soit une involution cyclique d'ordre p. Dans le premier cas, P est dit point uni parfait, dans le second, point uni non parfait. D'après une remarque de M. Severi [7], le premier cas se présente toujours lorsque $p=2$. Il ne peut d'autre part se présenter pour $p>2$ lorsque la surface Φ est de genres un, ou de genres zéro, bigenre un, mais il est aisé de voir qu'il n'en est plus ainsi lorsque la surface Φ possède une courbe canonique effective [22, 23, 24].

Le cas des involutions d'ordre deux a tout d'abord fait l'objet de nos recherches [14, 15], puis nous avons étudié les involutions appartenant à la surface qui représente les couples de points d'une courbe de genre trois, non hyperelliptique [23, 25, 30, 33], en profitant de certains résultats de G. Humbert [8]. Ici s'est présenté le premier exemple d'une involution rationnelle, n'ayant qu'un nombre fini de points de coïncidence, appartenant à une surface non rationnelle ni référable à une réglée [33].

Dans le cas général, lorsque le point P est uni parfait, le point de diramation correspondant est un point multiple d'ordre p, conique, de la surface Φ [26]. Lorsque P est uni non parfait, la singularité de la surface Φ

(6) Enriques, *Un osservazione relativa alle superficie di bigenere uno*, Rend. R. Accad. Bologna (1907).

(7) Severi, *Sulle superficie algebriche che ammettono un gruppo continuo permutabile a due parametri di trasformazioni birazionali*, Atti R. Istituto Veneto (1908).

(8) G. Humbert, *Sur une surface du sixième ordre liée aux fonctions abéliennes de genre trois*, Journal de Liouville (1896).

au point de diramation correspondant est plus compliquée : ce point peut être un point double biplanaire auquel sont infiniment voisins successifs $^1/_2(p-1)$ points doubles biplanaires dont le dernier est ordinaire [26]. C'est ce qui se présente toujours si $p=3$ [31].

7. — P étant un point uni non parfait, transformons birationnellement F en une surface F′ de manière à ce qu'au point P corresponde une courbe exceptionnelle p'. A I_p correspond une involution cyclique I'_p de F′, engendrée par une transformation birationnelle T′ de cette surface en elle-même. T′ engendre sur la courbe p' une involution cyclique d'ordre p présentant deux points unis P'_1, P'_2. Ils correspondent aux points unis de I_p situés dans le domaine du premier ordre de P sur la surface F. Les points P'_1, P'_2 peuvent être unis parfaits ou non parfaits pour I'_p. Dans le second cas, on pourra également étudier la manière dont T′ se comporte dans le voisinage de chacun des points P'_1, P'_2 sur F′. Et ainsi de suite. Retournant à la surface F, on connaîtra ainsi la manière dont se comporte la transformation T dans les domaines des différents ordres successifs du point P sur la surface F. Construisons alors sur cette surface un système linéaire de courbes C, dépourvu de points-base, composé au moyen de I_p et appelons C_1 les courbes C passant par P. On pourra déterminer les différentes branches des courbes C_1 ayant pour origine P et la manière dont elles se comportent vis-à-vis de I_p dans les domaines successifs de P sur F. Soit Π le point de diramation homologue de P sur la surface Φ et arrangeons-nous de manière à ce que les sections hyperplanes de Φ correspondent aux courbes C. Alors, aux courbes C_1 correspondent les sections de Φ par les hyperplans passant par Π. Le nombre des tangentes à ces courbes en Π est égal au nombre des branches des courbes C_1 d'origine P, mais il peut arriver que certaines de ces tangentes doivent être comptées plusieurs fois. Il suffit, pour s'en assurer, de considérer le cas où la surface F est un plan, la transformation T étant une homographie non homologique [49, 51].

Nous avons pu démontrer que si $p=3$, $P'_1 P'_2$ sont des points unis parfaits de I'_p [48] et que réciproquement, si P'_1, P'_2 sont des points unis parfaits pour I'_p, on a $p=3$ [50]. Nous avons ensuite étudié le cas où un seul des points P'_1, P'_2 est uni parfait pour I'_p. Le point de diramation correspondant à P est alors multiple d'ordre $^1/_2(p-1)+1$ pour Φ, le cône tangent étant formé d'un cône d'ordre $^1/_2(p-1)$ et d'un plan [52, 53].

Le cas général paraît assez difficile à traiter ; nous avons cherché à l'examiner par les méthodes de la géométrie projective différentielle [47].

8. — Une autre question se présente dans l'étude des involutions appartenant à une surface algébrique F, c'est la relation qui existe entre les irrégularités de F et d'une surface Φ image de l'involution. Nous bornant toujours au cas des involutions n'ayant qu'un nombre fini de points unis, nous avons commencé par étudier les involutions régulières d'ordre deux appartenant à une surface irrégulière et particulièrement les systèmes de courbes tracés sur la surface image [38, 39]. Ensuite, nous avons

pu établir que si une surface irrégulière F contient une involution régulière d'ordre deux, n'ayant qu'un nombre fini de points unis, elle est l'image d'une involution d'ordre deux, privée de points unis, appartenant à une surface de même irrégularité [43]. Nous avions tout d'abord traité le cas d'une surface de Picard, retrouvant ainsi un théorème que MM. Enriques et Severi avaient établi par une tout autre voie [42]. Nous avons aussi cherché à établir une autre généralisation de ce dernier théorème, en considérant une correspondance rationnelle entre deux surfaces de même irrégularité. On obtient alors une correspondance rationnelle entre les variétés de Picard attachées à ces surfaces [45]. Enfin, nous avons considéré les systèmes de courbes tracés sur une surface régulière image d'une involution d'ordre trois, appartenant à une surface irrégulière [44].

BIBLIOGRAPHIE

[1] *Sur les transformations rationnelles entre deux surfaces de genres un* ; C. R., 421-423 (août 1912).

[2] *Sur les involutions de genres un existant sur une surface de genres un* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 310-328 (1913).

[3] *Sur les involutions cycliques d'ordre 2^α et de genres un sur une surface de genres un* ; Nachrichten K. Gesell. zu Goettingen (1913).

[4] *Sur les involutions appartenant à une surface de genres zéro et de bigenre un* ; C. R., 1306-1308 (avril 1913).

[5] *Sur les involutions appartenant à une surface de genres $p_a=p_g=0$, $P_6=1$* ; Bull. Soc. Math. de France, 178-194 (1913).

[6] *Classification des involutions de genres un appartenant à une surface de genres un* ; C. R., 1737-1739 (juin 1913).

[7] *Mémoire sur les involutions appartenant à une surface de genres un* ; Annales de l'Ecole Normale supérieure, 357-430 (1914); 51-70 (1919).

[8] *Sur les involutions n'ayant qu'un nombre fini de points de coïncidence appartenant à certaines surfaces algébriques* ; Mémoires de la Soc. des Sciences du Hainaut, 1-35 (1913).

[9] *Détermination des correspondances rationnelles existant entre deux surfaces de genres $p_a=p_g=0$, $P_6=1$* ; Bull. de l'Acad. roumaine, 65-67 (1913).

[10] *Sur la surface du quatrième ordre contenant une sextique gauche de genre trois* ; Bull. de l'Acad. de Cracovie, 529-547 (1913).

[11] *Sur les involutions douées d'un nombre fini de points de coïncidence appartenant à une surface algébrique* ; Rend. R. Accad. dei Lincei, 408-413 (mars 1914).

[12] *Sur les surfaces de genres zéro et de bigenre un* ; Rend. R. Accad. dei Lincei, 682-686 (mai 1914).

[13] *Sur les involutions n'ayant qu'un nombre fini de points unis appartenant à une surface algébrique* ; C. R., 851-853 (mars 1914).

[14] *Sur les surfaces algébriques doubles n'ayant qu'un nombre fini de points de diramation* ; C. R., 1261-1263 (mai 1914).

[15] *Mémoire sur les surfaces algébriques doubles ayant un nombre fini de points de diramation* ; Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse, 289-312 (1914).

[16] *Sur certaines surfaces algébriques de diviseur supérieur à l'unité* ; Bull. de l'Acad. de Cracovie, 362-368 (1914).

[17] *Mémoire sur les surfaces algébriques de genres zéro et de bigenre un* ; Bull. Soc. Math. de France, 89-117 (1915).

[18] *Sur les surfaces de genres un, triples, douées d'un nombre fini de points de diramation* ; C. R. (décembre 1914).

[19] *Exemples de surfaces algébriques de diviseur supérieur à l'unité* ; Bull. des Sciences math. (1915).

[20] *Sur les involutions de genres un et de seconde espèce appartenant à une surface de genres un* ; Annales de l'Université de Iassy, 247-254 (1915).

[21] *Recherche des involutions de genres zéro, bigenre un, appartenant à une surface de genres un* ; Annaes da Academia Polyt. do Porto (1916).

[22] *Sur les involutions appartenant aux surfaces algébriques* ; C. R., 261-262 (sept. 1916).

[23] *Sur des surfaces algébriques liées à une courbe de genre trois* ; Bull. de l'Acad. Roumaine, 271-274, 283-286, 373-378 (1916).

[24] *Etude d'une involution cubique douée d'un nombre fini de points unis appartenant à une surface algébrique* ; Revista Soc. Matem. española (1917).

[25] *Mémoire sur les surfaces algébriques liées à une courbe algébrique de genre trois* ; Arxius de l'Institut de Ciencias, Barcelone, 89-107 (1917).

[26] *Recherches sur les involutions douées d'un nombre fini de points de coïncidence appartenant à une surface algébrique* ; Bull. Soc. Math. de France, 1-16 (1919).

[27] *Les surfaces bicanoniques doubles ayant un nombre fini de points de diramation* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 855-864 (1919).

[28] *Sur les plans doubles de genres un et de rang trois* ; Annaes da Academia Polyt. do Porto (1920).

[29] *Sur une surface du quatrième ordre à douze points doubles coniques* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 554-560 (1920).

[30] *Sur une surface algébrique considérée par M. G. Humbert* ; Bull. des Sciences math., 14-20 (1921).

[31] *Recherches sur les involutions cubiques appartenant à une surface algébrique* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 105-124 (1921).

[32] *Sur les surfaces du quatrième ordre contenant des courbes rationnelles* ; Revista R. Acad. Madrid (1921).

[33] *Sur une involution rationnelle douée de trois points de coïncidence appartenant à une surface algébrique de genre trois* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 653-665, 694-702 (1921).

[34] *Sur les correspondances rationnelles entre deux surfaces de genres un* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 189-196 (1922).

[35] *Sur les surfaces du quatrième ordre possédant six points doubles biplanaires ordinaires* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 443-456 (1922).

[36] *Sur les involutions cycliques d'ordre quatre appartenant à une surface de genres un* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 75-88, 360-379, 459-483 (1923).

[37] *Sur les involutions d'ordre huit appartenant à une surface de genres un* ; Mémoires in-8° de l'Acad. roy. de Belgique, 1-33 (1924).

[38] *Sur les involutions régulières d'ordre deux appartenant à une surface irrégulière* ; Congrès intern. des Mathématiciens, Toronto, 733-737 (1924).

[39] *Sur les involutions régulières d'ordre deux appartenant à une surface irrégulière* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 434-446 (1924); 37-47, 157-166 (1925).

[40] *Sur un plan double de genres zéro et de bigenre un* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 527-534 (1926).

[41] *Recherches sur les surfaces algébriques de genres zéro et de bigenre un* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 726-741, 892-904 (1926); 114-133 (1927).

[42] *Sur les surfaces de Picard de diviseur deux* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 394-414 (1927).

[43] *Sur une propriété des surfaces algébriques irrégulières contenant une involution régulière d'ordre deux* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 524-543 (1927).

[44] *Sur les involutions régulières d'ordre trois appartenant à une surface irrégulière* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 707-724 (1927).

[45] *Sur les correspondances rationnelles entre deux surfaces algébriques ayant même irrégularité* ; Bull. Acad. roumaine, 16-19 (1927).

[46] *Recherches sur les correspondances rationnelles du sixième ordre entre deux surfaces de genres un* ; Mémoires de la Soc. roy. des Sciences de Liége, 1-42 (1928).

[47] *Sur les correspondances ponctuelles entre surfaces* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 408-420 (1929).

[48] *Sur les points unis des involutions cycliques d'ordre trois appartenant à une surface algébrique* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 553-560 (1929).

[49] *Sur les homographies planes cycliques* ; Mémoires de la Soc. roy. des Sciences de Liége, 1-26 (1929).

[50] *Sur les points unis des involutions cycliques appartenant à une surface algébrique* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 956-965 (1929).

[51] *Sur les surfaces représentant les involutions planes engendrées par des homographies cycliques* ; Mémoires de la Soc. roy. des Sciences de Liége (1930).

[52] *Sur les points unis des involutions cycliques appartenant à une surface algébrique* ; C. R., 154-155 (janvier 1930).

[53] *Recherches sur les involutions cycliques appartenant à une surface algébrique* ; Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 448-465 (1930).

SUR L'EXPRESSION ASYMPTOTIQUE DE LA FORMULE DE LORD KELVIN DONNANT LE RAPPORT DES RÉSISTANCES D'UN FIL EN COURANT ALTERNATIF OU CONTINU.

par C. de la VALLÉE POUSSIN

Professeur à l'Université de Louvain

---

1. — Lorsqu'un conducteur cylindrique est parcouru par un courant alternatif de grande fréquence, le courant se porte presque entièrement à la surface. En vertu de ce phénomène auquel les Anglais ont donné le nom de *skineffekt* (effet de peau), la résistance d'un fil est plus grande en courant alternatif qu'en courant continu. On doit à Lord KELVIN une formule théorique importante pour exprimer le rapport des résistances dans les deux cas (¹).

Voici d'abord la formule de lord Kelvin. Soient R(S) la résistance d'un fil à section circulaire de longueur l en courant continu et R(N) la résistance du même fil en courant alternatif de N périodes par secondes ; le rapport de ces deux résistances a pour valeur :

$$\frac{\mathrm{R(N)}}{\mathrm{R(S)}} = \frac{1}{2}\, p\, \frac{ber\, p\; bei'\, p - bei\, p\; ber'\, p}{(ber'\, p)^2 + (bei'\, p)^2} \tag{1}$$

Dans cette formule, les caractéristiques *ber* et *bei* désignent les deux fonctions (²)

$$\left\{\begin{aligned} ber\, p &= 1 - \frac{p^4}{2^2\, 4^2} + \frac{p^8}{2^2\, 4^2\, 6^2\, 8^2} - \cdots \\ bei\, p &= \frac{p^2}{2^2} - \frac{p^6}{2^2\, 4^2\, 6^2} + \cdots \end{aligned}\right. \tag{2}$$

et l'accent désigne la dérivée.

Le paramètre p a pour valeur

$$p = 2\,\pi \sqrt{\frac{2\,\mathrm{N}}{\sigma}}\; a, \tag{3}$$

(¹) Sir William THOMSON, *Mathematical and physical papers*, t. **3** ; Elasticity, Heat, Electromagnetisme ; London, C.-I. Clay and Sons, Cambridge University press, Wahrouse (1890). — Art. CII, Ether, Electricity and ponderable Matter (Extrait de l'adresse présidentielle à l'Institution of electrical Engineers, 10 janv. 1889). La formule a été donnée sans démonstration dans l'adresse. Celle qui est exposée dans les paragraphes 29 à 35 de l'article est (d'après l'auteur) du 13 mai 1890.

(²) Il est convenable, dit l'auteur (p. 514), de désigner une fonction par trois lettres puisque tel est le cas pour sin, cos, tan.

où σ est la résistance spécifique en cent. car. par seconde et a le rayon de la section du fil. Le paramètre p augmente donc indéfiniment avec le rayon a et avec la fréquence N.

On s'assure immédiatement, en remplaçant dans l'intégrale l'exponentielle par son développement suivant les puissances de p, que les fonctions *berp* et *beip* sont la partie réelle et le coefficient de i dans la fonction de Bessel

$$J(p) = \frac{1}{\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} e^{p \sin \varphi \sqrt{i}}\, d\varphi \qquad \left(i = \sqrt{-1}\right) \tag{4}$$

qui est une intégrale particulière de l'équation de Bessel

$$\frac{d^2J}{dp^2} + \frac{1}{p}\frac{dJ}{dp} = i\,J.$$

Lord Kelvin a intercalé dans l'article cité un tableau qui donne les valeurs calculées par la formule (1) pour une suite de valeurs croissantes de p. Si p est suffisamment petit, le calcul est aisé par les séries (2) dont la convergence est alors rapide. Mais cet avantage disparaît pour les grandes valeurs de p et l'auteur nous dit qu'il a utilisé dans ce cas des développements semi-convergents procédant suivant les puissances descendantes de p. Il ne nous dit pas lesquels, mais ce sont vraisemblablement ceux qui peuvent servir au calcul de J et dont s'étaient préoccupés Poisson, Lipschitz, Hankel et Weber [1].

Ces développements permettent de trouver la valeur asymptotique de la formule de lord Kelvin quand p tend vers l'infini, mais nous ne les utiliserons pas. Nous nous proposons, en effet, de suivre ici une méthode qui conduit plus directement à la détermination de cette valeur.

2. — Apportons d'abord une simplification au calcul de la formule (1) de lord Kelvin. Posons :

$$J = X + Yi, \quad \frac{J'}{J} = u + iv;$$

il vient, par des calculs élémentaires,

$$\frac{v}{u^2 + v^2} = \frac{XY' - X'Y}{X'^2 + Y'^2}.$$

[1] Poisson, *Journ. de l'Ec. polyt.*, **19**, 349 (1823).
Lipschitz, *Journ. für Mathem.*, **56**, Die Besselsche Transcendante 1, 189-196 (1859).
Hankel, Die Cylinderfunctionen erster und zweiter Art., *Math. Ann.*, **1**, 467-499 (1869).
Weber, Zur Theorie der Bessel schen Functionen, *Math. Ann.*, 404-416 (1890).
Voyez aussi *Encyclopädie der Mathem. Wiss.*, Bd II, 1, Heft 5, 748

Par conséquent, en désignant plus simplement par k le rapport R(N) ; R(S) considéré par lord Kelvin, la formule de l'illustre auteur prend la forme plus avantageuse :

$$k = \frac{p}{2} \frac{v}{u^2 + v^2}. \tag{5}$$

On reconnaît d'ailleurs immédiatement que $u + vi = z$ est une solution de l'équation de Riccati.

$$z' + z^2 + \frac{1}{p} z = i ,$$

mais nous n'utiliserons pas cette équation.

Nous nous proposons maintenant de trouver la valeur asymptotique de $J' : J = u + i v$ quand p augmente indéfiniment afin d'en déduire la valeur correspondante de k.

3. — Considérons d'abord la fonction, plus générale que la précédente,

$$J(x) = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} e^{ax \sin \varphi} d\varphi$$

dans laquelle x et φ sont réels, mais où a est un coefficient complexe dont la partie réelle α est supposée positive. Partageons cette intégrale en deux autres étendues aux intervalles

$$\left(0 , \frac{\pi}{2}\right) \text{et} \left(-\frac{\pi}{2}, 0\right) ;$$

posons $\sin \varphi = u$ dans la première et changeons φ en $-\varphi$ dans la seconde ; il vient

$$J(x) = \int_0^1 e^{aux} \frac{du}{\sqrt{1 - u^2}} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-ax \sin \varphi} d\varphi.$$

Changeons encore u en $1 - \frac{u}{x}$ dans la première intégrale ; il vient

$$J(x) = \frac{e^{ax}}{\sqrt{2x}} \int_0^x e^{-au} \frac{du}{\sqrt{u - \frac{u^2}{2x}}} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{-ax \sin \varphi} d\varphi.$$

Nous pouvons mettre ce résultat sous la forme suivante

$$J(x) = \frac{e^{ax}}{\sqrt{2x}} \left(\omega + \omega_1\right),$$

en posant

$$\omega = \int_0^x e^{-au} \frac{du}{\sqrt{u}} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u}{2x}}}, \qquad \omega_1 = \sqrt{2x}\, e^{-ax} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{ax \sin \varphi} d\varphi.$$

Il vient alors :

$$\frac{J'}{J} = a - \frac{1}{2x} + \frac{\omega' + \omega'_1}{\omega + \omega_1}. \qquad (6)$$

Quand x tend vers l'infini, la fonction ω_1 de x et ses dérivées successives décroissent plus rapidement que l'exponentielle $e^{-\alpha x}$ et nous pouvons les négliger dans l'expression de la valeur asymptotique cherchée (formée de puissances descendantes de x).

La fonction ω de x se développe en série convergente en remplaçant $\left(1 - \frac{u}{2x}\right)^{-\frac{1}{2}}$ par son développement par la formule du binome. Il vient ainsi :

$$\omega = A_0 + \frac{A_1}{2x} + \frac{A_2}{(2x)^2} + \dots + \frac{A_n}{(2x)^n} + \dots$$

en posant

$$A_0 = \int_0^x e^{-au} \frac{du}{\sqrt{u}}, \quad A_n = \frac{1.\,3 \dots (2n-1)}{2.\,4 \dots (2n)} \int_0^x e^{au}\, u^{n - \frac{1}{2}} du$$

Pour $x = \infty$, ces coefficients A ont pour valeurs limites les nombres :

$$A_0 = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{a^{\frac{1}{2}}}, \qquad A_n = \frac{1\,.\,3\,.\,.\,.\,(2\,n - 1)}{2\,.\,4\,.\,.\,.\,(2\,n)} \; \frac{\Gamma\left(n + \frac{1}{2}\right)}{a^{n + \frac{1}{2}}}$$

et ils ne diffèrent de ces limites que par des intégrales qui sont infiniment petites de l'ordre des produits

$$x^{n - \frac{1}{2}} e^{-\alpha x}.$$

Mais si l'on substitue à ces coefficients A leurs valeurs limites dans la série ω, on forme une série semi-convergente, analogue à celles dont il a été question au début.

Si l'on néglige les dérivées des coefficients A qui sont aussi infiniment petites de l'ordre des produits

$$x^{n-\frac{1}{2}} e^{-\alpha x}$$

on trouve pour la dérivée ω' de ω la formule asymptotique (les A recevant leurs valeurs limites ci-dessus)

$$\omega' = -\frac{A_1}{2x^2} - \frac{A_2}{2x^3} - \cdots$$

Le quotient $\omega' : \omega$ admet, d'après cela, un développement semi-convergent procédant suivant les puissances décroissantes de x. Le premier terme de ce développement nous donne la valeur asymptotique suivante de ce quotient (exacte au troisième ordre près)

$$\frac{\omega'}{\omega} = -\frac{A_1}{2A_0 x^2} = -\frac{1}{4ax^2} \frac{\Gamma\left(\frac{3}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)} = -\frac{1}{4ax^2}$$

Portons cette valeur dans la formule (6), nous obtenons l'expression asymptotique cherchée (exacte au troisième ordre près)

$$\frac{J'}{J} = a - \frac{1}{2x} - \frac{1}{4ax^2} \tag{7}$$

Il y a lieu d'observer que les résultats obtenus en dérivant cette formule restent asymptotiquement exacts en vertu des remarques qui ont été faites sur les dérivées de ω et de ω_1.

Il n'y a aucune difficulté à assigner une borne supérieure à l'erreur commise par l'emploi de la formule (7), mais cela nous entraînerait hors des limites de cet article.

4. — Revenons maintenant à la formule de lord Kelvin que nous avons mise sous la forme (5). Pour obtenir la fonction particulière $J(p)$ qui intervient dans cette formule, il faut faire :

$$a = \sqrt{i} = \frac{1+i}{\sqrt{2}}.$$

On n'a pas à s'inquiéter du facteur $1:\pi$ qui figure devant l'intégrale (4), car il disparaît dans le rapport $J':J$.

Il vient ainsi :

$$\frac{J'(p)}{J(p)} = \frac{1+i}{\sqrt{2}} - \frac{1}{2p} - \frac{(1-i)}{4\sqrt{2}\,p^2};$$

et, en séparant le réel et l'imaginaire,

$$u = \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{2p} - \frac{1}{4\sqrt{2}\,p^2},$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{4\sqrt{2}\,p^2}.$$

On en tire, au même ordre d'approximation,

$$u^2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2p}}, \qquad v^2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4p^2},$$

$$u^2 + v^2 = 1 - \frac{1}{\sqrt{2}\,p} + \frac{1}{4p^2}, \quad \frac{1}{u^2+v^2} = 1 + \frac{1}{\sqrt{2}\,p} + \frac{1}{4p^2}.$$

Donc, en négligeant toujours les termes du troisième ordre, nous obtenons :

$$\frac{v}{u^2+v^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{2p} + \frac{1}{2\sqrt{2}\,p^2}.$$

L'expression asymptotique du rapport k considéré par lord Kelvin est donc (au second ordre près)

$$k = \frac{p}{2\sqrt{2}} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4\sqrt{2}\,p} \tag{8}$$

De plus, pour les mêmes raisons que précédemment, les valeurs asymptotiques des dérivées de k s'obtiennent par dérivation de cette formule.

En coordonnées p, k l'équation précédente est celle d'une hyperbole qui admet pour asymptote la droite

$$k = \frac{p}{2\sqrt{2}} + \frac{1}{4}$$

et qui est située au-dessus de son asymptote.

La courbe exacte :

$$k = \frac{p}{2} \cdot \frac{v}{u^2+v^2}$$

admet donc la même asymptote. Elle est située au-dessus de cette asymptote et lui oppose sa convexité, au moins à partir d'une valeur suffisamment grande de $p (k'' > 0)$.

5. — M. Albert Levasseur a fait connaître récemment, pour le calcul de k, la formule approchée [1]

$$k = \sqrt[6]{\left(\frac{3}{4}\right)^6 + \nu^6} + \frac{1}{4} \tag{9}$$

où le paramètre ν est lié à p par la relation $\nu = p : 2\sqrt{2}$

Cette formule empirique est très exacte dans les limites de la table de lord Kelvin. La courbe qui la représente admet la même asymptote que la courbe exacte. Mais, pour p infiniment grand, la courbe approchée se confond avec son asymptote au cinquième ordre près. L'erreur commise par la formule (9) pour les grandes valeurs de p s'exprime donc asymptotiquement par le dernier terme de la formule (8) et elle est de l'ordre de $\frac{1}{p}$.

Ces résultats doivent assurément être considérés comme une confirmation de l'exactitude pratique de la formule de M. Levasseur.

(1) Comptes rendus du 7 oct. 1929.

THÉORIE INVARIANTIVE DU CALCUL DES VARIATIONS

par Th. DE DONDER,

Professeur à l'Université de Bruxelles

I. Le problème fondamental qui fait l'objet du Calcul des Variations consiste dans la recherche des fonctions inconnues $y^1, \ldots, y^m$ des variables indépendantes $x^1, \ldots, x^m$ qui rendent minimum ou maximum l'intégrale n-uple (¹).

$$(16^*) \quad I_n \equiv \int_{(n)} f\left(x^1, \ldots x^m ; y^1, \ldots y^m ; \ldots y^{\alpha, i_1}_{\ldots\ldots} \ldots\ldots ; \ldots y^{\alpha, i_1 i_2}_{\ldots\ldots} \ldots\ldots ; \ldots\right) \delta^1 (x^1 \ldots x^n.) \qquad (1)$$

Dans notre théorie *invariantive* de ce calcul, nous considérons la variation δI_n comme due à un *déplacement* engendré par la transformation infinitésimale tout à fait générale :

$$(1^*) \quad \left\{ \delta x^i = X^i (x, y) \, \delta\tau \qquad (i = 1 \ldots n) \qquad (2) \right.$$

$$(2^*) \quad \left\{ \delta y^\alpha = Y^\alpha (x, y) \, \delta\tau \, . \qquad (\alpha = 1 \ldots m) \qquad (3) \right.$$

Grâce à cette conception, *les règles de calcul* obtenues dans la *Théorie des Invariants intégraux* (²) s'appliquent immédiatement à la recherche de la variation δ de l'intégrale (1).

Après avoir *prolongé*, au sens de S. Lie, la transformation ponctuelle (2) et (3), et avoir défini *les dérivées variationnelles*

$$(17^* \text{ à } 30^*) \qquad \frac{\delta F}{\delta y^\alpha} , \quad \frac{\delta F}{\delta y^{\alpha, i_1}} , \ldots , \frac{\delta F}{\delta y^{\alpha, i_1 i_2 \ldots i_n}} , \ldots \qquad (4)$$

ainsi que les opérateurs :

$$(35^* \text{ à } 37^*) \qquad XF, \quad DF, \quad D^i F, \qquad (5)$$

(¹) Pour les notations, voir notre *Théorie invariantive du Calcul des Variations* (*Bull. Ac. Roy. de Belg., Cl. des Sc.*, janv., févr., mars, avril, mai, juin 1929 ; avril, juin 1930). Les numéros avec astérisque renvoient aux formules de ma *Théorie invariantive*.

(²) Th. De Donder, *Théorie des Invariants intégraux* ; Paris, Gauthier-Villars (1927).

nous obtenons ([3]) les formules fondamentales

(38*) $$\frac{\partial F}{\partial \tau} = X F + D F + \sum_{i=1}^{n} \frac{d}{d x^i} (D^i F)$$ (6)

(100*) $$\frac{\partial I_n}{\partial \tau} = \int_{(n)} \left(\frac{\partial F}{\partial \tau} + \sum_{i=1}^{n} \frac{d X^i}{d x^i} \right) \delta' (x^1 \ldots x^n)$$ (7)

(87*) (8)
$$= \int_{(n)} (D F)\, \delta' (x^1 \ldots x^n) + \oint_{(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (-1)^i (X^i + D^i f)\, \delta'(x^1 \ldots x^{i-1} x^{i+1} x^n)$$

qui expriment respectivement les dérivées par rapport au paramètre variationnel τ de la fonction F et de l'intégrale n-uple I_n.

Toujours grâce à la théorie des invariants intégraux, on obtient, avec la même facilité la variation première

(115*) (9)
$$\frac{\partial I_p}{\delta \tau} = \int_{(p)} S_{i_1 \ldots ip} \left[D A_{i_1 \ldots ip} + \frac{d}{d x^i} D^i A_{i_1 \ldots ip} + C_{i_1 \ldots ip} \right] \delta^1 (x^{i1} \ldots x^{ip}) + \oint_{(p-1)} E I_p$$

d'une intégrale p-uple

(105) $$I_p = \int_p S_{i_1 \ldots ip} A_{i_1 \ldots ip}\, \delta' (x^{i1} \ldots x^{ip})$$ (10)

dans un espace à n dimensions.

Les symboles $E I_p$ et $C_{i_1 \ldots ip}$ sont définis aux (113*, 116*, 117*).

La formule (9) généralise certains résultats dus à E. Picard et E. Goursat ([4]).

II. Nous considérons ensuite le *changement quelconque des variables indépendantes* x^i *et des variables dépendantes* y^α donné par

(44*) $$x^i = x^i (x^1_* \ldots x^n_*)$$ (11)

(46*) $$y^\alpha = y^\alpha (y^1_* \ldots y^m_* ; x^1_* , \ldots x^n_*)$$ (12)

Par rapport à ce changement de variables

(47*) $$f\, \delta (x^1 \ldots x^n)$$ (13)

est *un invariant au sens élargi de S. Lie.*

([3]) Pour certaines démonstrations, voir J. P. Bosquet, *Quelques formules fondamentales de la théorie invariantive du Calcul des Variations* (Bull. Acad. Roy. de Belg., Cl. des Sc., avril 1929). La démonstration de l'identité
$$\frac{\partial}{\partial y^\alpha} \left(\frac{d A}{d x^i} \right) = 0$$
mérite d'attirer particulièrement l'attention du lecteur.

([4]) E. Picard, *Traité d'Analyse*, 1, 74-114 ; Paris, Gauthier-Villars (1891). — E. Goursat, *Cours d'Analyse mathématique*, 1, 651-665 ; Paris, Gauthier-Villars (1927). On y trouvera pour quelques cas particuliers, des interprétations géométriques fort intéressantes.

De là, nous déduisons la variance de la dérivée variationnelle $\frac{\delta F}{\delta y^{\beta}}$

(48*) $$\frac{\delta F}{\delta y_*^{\alpha}} = \frac{\partial (x)}{\partial (x_*)} \sum_{\beta} \frac{\delta F}{\delta y^{\beta}} \frac{\partial y^{\beta}}{\partial y_*^{\alpha}} \qquad (14)$$

de l'élément déformateur ω^{α}

(125*) $$\omega^{\alpha} = \sum_{\beta=1}^{m} \frac{\partial y^{\alpha}}{\partial y_{\beta_*}} \omega_*^{\beta} \qquad (15)$$

et de l'opérateur D F

(127*) $$\mathrm{D}\, F = \frac{\partial (x_*)}{\partial (x)} \mathrm{D}_* F_* \qquad (16)$$

Ces résultats montrent que nos formules et nos équations sont invariantes.

III. A titre d'application, nous montrons dans la formule (6) que le calcul *absolu classique* est contenu comme cas très particulier dans les résultats sus-mentionnés. Nous considérons le calcul des variations comme le calcul *absolu* pris dans son sens le plus profond et le plus général. Signalons aussi l'application à la recherche systématique et rigoureuse des *identités fondamentales* de la gravifique einsteinienne ([5]) [voir formule (12) et spécialement (139*)].

Ces identités ont été généralisées, grâce aux mêmes méthodes, par R. Deladrière ([6]).

IV. Dans le chapitre II, nous montrons (225*) comment on peut généraliser *les équations d'Hamilton* dans le cas d'une *intégrale* n-*uple*, c'est-à-dire où le nombre des variables indépendantes $x^1 \dots x^n$ est quelconque. Signalons aussi la variance (207* et 230*) des dérivées partielles de F par rapport aux dérivées des y_α d'ordre plus élevé ; la variance est étudiée ici par rapport au changement de variables (203*) et (204*).

V. Dans le chapitre III, nous indiquons, grâce à nos règles de calcul, plusieurs méthodes pour calculer les dérivées *successives*,

(250*, 253*, 261*, 265*) $$\frac{\delta^2 I_n}{\delta \tau^2}, \dots \qquad (17)$$

Il en résulte des *identités* (268*) et des équivalences (273* et 292*).

Il est important de remarquer que tous ces résultats ont une forme invariante.

VI. Dans le chapitre IV, nous généralisons le calcul des variations en considérant à la fois *plusieurs paramètres variationnels*

$$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots \tau_\sigma \qquad (18)$$

([5]) G. Lemaître, *Bull. de l'Acad. Roy. de Belg.* (juillet 1923).

([6]) R. Deladrière, *Généralisation des identités fondamentales de la Gravifique einsteinienne* (*Bull. de l'Acad. Roy. de Belg.*, *Cl. des Sc.* [1930]).

VII. Cette extension permet d'étudier d'une manière tout à fait générale *les solutions aux variations successives* (341^{I}*), (341^{II}*)... attachées à une extrémale (339*).

En prenant les variations tronquées

$$(342^*) \qquad X^i \equiv 0$$

nous sommes conduits à définir les variations particulières des degrés successifs (343*) et (349*).

Nous appliquons ensuite les variations particulières *du premier degré* aux formules antérieures et nous obtenons ainsi les formules (360*, 362*, 365*, 369*).

Nous obtenons, en outre, *une généralisation de l'identité de J. Hadamard* :

$$(394^*) \qquad \sum_{\alpha}\left(\frac{\delta\,\Omega}{\delta Y\alpha}\,Y\alpha - \frac{\delta\bar{\Omega}}{\delta Y\alpha}\,Y\alpha\right) = \sum_{i_1}\frac{d\,\mathcal{L}(i_1)}{d\,x^i}\,. \qquad (19)$$

Le symbole $\mathcal{L}$ (i_1) est défini au (395*).

Enfin, nous établissons deux théorèmes : le premier est relatif à une solution aux variations du premier degré attachée à une extrémale, le second — que l'on déduit de (19) — est relatif aux deux solutions aux variations de premier degré attachées à *deux* extrémales.

VIII. — Ces résultats ont été appliqués avec succès par Jean-P. Bosquet (7) à la recherche de la *forme réduite* de la variation *seconde*

$$\frac{\delta^2\,I_n}{\delta\,\tau^n}$$

Pour atteindre ce but, J.-P. Bosquet généralise encore plus que nous l'avions fait, l'identité de J. Hadamard. Ensuite, il généralise la notion de *solutions associées*. Il obtient enfin, dans (74$^\times$) la variation seconde sous *sa forme réduite* et dans (95$^\times$) une *généralisation du théorème de Hans Hahn*, théorème qui établit un lien important entre la théorie des solutions associées d'Escherich et celle des invariants intégraux.

IX. Dans le chapitre VII de notre *Théorie Invariantive du Calcul des Variations*, nous rappelons d'abord le *théorème direct de Jacobi* afin de faciliter la compréhension de la *généralisation* de ce théorème au cas d'un nombre *quelconque* de variables indépendantes $x^1 \ldots x^n$. Indiquons une application de cette généralisation. Les dix équations aux dérivées partielles de la gravifique peuvent se mettre sous la forme hamiltonienne et à celles-ci on peut associer l'équation de Jacobi généralisée. Cette application a été développée par Maurice Nuyens (8).

(7) Jean-P. Bosquet, *Contribution à la théorie invariantive du Calcul des Variations* (*Bull. Ac. Roy. Belg., Cl. des Sc.*, V, **15**, 12 [1929]) ; *Exemples de la réduction de la variation seconde d'une intégrale n-uple* (*idem*, mars 1930).

Les numéros avec une croix renvoient aux formules de la contribution

(8) M. Nuyens, *Bull. Ac. Roy. de Belg., Cl. des Sc.* (juin 1930).

On peut espérer que cette méthode fournira enfin quelques lumières concernant la mise en équation et la résolution du problème des n corps en relativité générale.

X. Dans une note parue en 1912 dans les *Comptes rendus de l'Académie de Paris*, j'ai montré qu'une intégrale n-uple aura *la forme paramétrique* si c'est un invariant intégral n-uple par rapport à un changement quelconque de ces paramètres. R. Deladrière [9] a calculé *explicitement* ces conditions nécessaires et suffisantes, et en a fait l'étude au point de vue de la variance.

XI. Les belles recherches de Th. Lepage [10] sur *les équations des extrémales* des intégrales multiples se rattachent à notre *Théorie invariantive du Calcul des variations* par notre formule ($87^{\times}$) et par notre *Théorie des Invariants intégraux*.

XII. Récemment, je suis parvenu à écrire *sous forme invariantive la généralisation du théorème d'indépendance de D. Hilbert*, généralisation que nous avons donnée [11] en 1913.

---

(9) R. Deladrière, *Bull. Ac. Roy. Belg., Cl. des Sc.* (mars 1930).
(10) Th. Lepage, *Bull. Ac. Roy. Belg., Cl. des Sc.* (octobre 1920 et janvier 1930).
(11) Th. De Donder, *Comptes rendus Ac. Sc. Paris*, **155**, 609 et 868 (1913).

SUR UNE CLASSE D'ÉQUATIONS AUX DÉRIVÉES PARTIELLES DU SECOND ORDRE

par Th. LEPAGE, *Répétiteur à l'Université de Liége*

Henri Poincaré a montré les avantages que l'on tire de l'existence d'un invariant intégral linéaire relatif pour les équations différentielles de la dynamique et, d'une manière plus générale, pour les systèmes différentiels ordinaires dont l'intégration est une opération équivalente, au sens de Lie, à l'intégration d'une équation aux dérivées partielles du premier ordre ne contenant pas explicitement la fonction inconnue.

Dans mon mémoire *Sur une propriété caractéristique des équations des extrémales des intégrales multiples* publié dans le *Bulletin de l'Académie*, janvier 1930, je montre comment ce théorème est susceptible d'être étendu au cas des équations aux dérivées partielles du second ordre de la physique mathématique et, plus généralement, aux équations définissant les extrémales d'une intégrale multiple. J'utilise à cette fin les formes intégrales ou extérieures de différentielles et le résultat fondamental peut être énoncé de la manière suivante :

Toute équation de Monge-Ampère provenant d'un problème de variation d'intégrale double peut être associée à une forme différentielle admettant un facteur intégrant. Une transformation de contact arbitraire ne modifie point ce résultat.

Je me propose d'énoncer ici quelques conséquences intéressantes de cette proposition.

Darboux a montré dans le tome III de sa *Théorie des surfaces* que tout système différentiel ordinaire du second ordre peut être rattaché, d'une infinité de manières, à un problème de variation d'intégrale simple. Tout revient, en somme, à observer que toute forme quadratique différentielle de classe trois admet un facteur intégrant. La connaissance d'un facteur intégrant permet d'achever la recherche des intégrales stationnaires par de simples quadratures.

Considérons maintenant une équation du type de Monge-Ampère, à deux variables indépendantes, d'ailleurs tout à fait quelconque, et construisons la forme quadratique différentielle qui lui est associée d'une manière indépendante de toute transformation de contact. Si cette forme admet un facteur intégrant l'équation en question pourra se rattacher à un problème de variation d'intégrale double. Mais, en général, il n'existera pas de facteur intégrant, de sorte que le problème de Darboux sera alors

impossible. Observons que les facteurs intégrants, s'ils existent, sont solutions d'un système d'équations, linéaires et non homogènes, aux dérivées partielles du premier ordre, à une seule fonction inconnue. On l'obtient immédiatement en exprimant que la forme quadratique considérée, multipliée par la fonction inconnue et par l'expression :

$$dz - p\,dx - q\,dy,$$

est une dérivée extérieure exacte (différentielle totale exacte au sens de Poincaré).

Les équations du type de Monge-Ampère, ou du type généralisé à plus de deux variables indépendantes, admettant un facteur intégrant (au sens indiqué ci-dessus) constituent une classe particulière. Convenons de considérer comme équivalentes deux équations qui se déduisent l'une de l'autre par l'auxiliaire d'une transformation de contact. Il est utile d'observer que deux équations appartenant à la classe que nous venons de définir ne sont pas nécessairement équivalentes sauf, toutefois, dans le cas où les formes différentielles respectives sont toutes deux de rang égal au degré.

Un point très important est la détermination de tous les caractères des formes demeurant inaltérés (invariants arithmétiques) quand on effectue une transformation de contact arbitraire. De ce nombre sont le degré, le rang et la classe d'une forme. Dans le cas de deux variables indépendantes cette recherche conduit tout naturellement aux systèmes différentiels de Pfaff définissant les caractéristiques du premier ordre de l'équation considérée. Ces systèmes se présentent en effet comme les systèmes de Pfaff associés aux formes de rang deux adjointes (au sens de mon mémoire rappelé ci-dessus) à l'équation de Monge-Ampère.

L'existence des caractéristiques du premier ordre pour une équation de Monge-Ampère se trouve ainsi rattachée au fait que toute forme quadratique de différentielles est nécessairement de rang pair. Ces caractéristiques n'existent pas, en général, pour les équations du type généralisé car les formes adjointes n'admettent plus de réduction aussi simple que précédemment. Mais dans tous les cas, c'est-à-dire quel que soit le nombre de variables indépendantes, l'intégration de l'équation, appartenant à la classe considérée dans cet article, se ramènera toujours à l'intégration d'un système différentiel ordinaire quand le rang de la forme adjointe sera égal au degré de cette forme.

Observons, pour finir, que toutes les formes différentielles dont on connaît un facteur intégrant admettent une infinité de formes primitives que l'on obtient par de simples quadratures. A ces formes primitives se rattache l'invariant relatif pour l'équation de Monge-Ampère, généralisant l'invariant intégral linéaire relatif de la dynamique.

SUR L'ÉQUATION FONCTIONNELLE

$$y^{(n)}(x) + a_1 y^{(n-1)}(x+c) + \dots \qquad + a_{n-1} y'(x + \overline{n-1}\, c) + a_n y(x + n c) = 0$$

par L. BRUWIER,

Professeur à l'Ecole des Mines de Mons

---

1. L'équation fonctionnelle, à coefficients constants a,

$$y^{(n)}(x) + a_1 y^{(n-1)}(x+c) + \dots \qquad + a_n y(x + n c) = 0 \qquad (1)$$

dans laquelle c désigne une constante, constitue une extension de l'équation différentielle linéaire

$$y^{(n)}(x) + a_1 y^{(n-1)}(x) + \dots \qquad + a_n y(x) = 0 \qquad (2)$$

qu'on obtient de l'équation (1) en mettant dans celle-ci zéro à la place de c.

Nous nous proposons de montrer qu'il existe pour l'équation (1) une solution qui contient n constantes arbitraires, du moins pour des valeurs de c inférieures en valeur absolue à un nombre positif R; la solution annoncée se réduit d'ailleurs à l'intégrale générale de l'équation (2) quand on y fait $c = 0$.

Le mode de démonstration consiste à chercher pour l'équation (1) une solution formelle

$$A_0 + A_1 \frac{(x+c)^1}{1\,!} + A_2 \frac{(x+2c)^2}{2\,!} + \dots \qquad + A_n \frac{(x+nc)^n}{n\,!} + \dots \qquad (3)$$

puis à rechercher les conditions de convergence uniforme de la série obtenue et de ses dérivées successives.

Soit, par exemple, l'équation considérée par BEKE [1]

$$y'(x) - y(x+c) = 0,$$

La série (3) satisfait formellement à l'équation précédente à la condition d'avoir identiquement

$$A_1 + A_2 (x + 2c) + A_3 \frac{(c+3c)^2}{2\,!} + \dots \qquad A_n \frac{(x+nc)^{n-1}}{(n\ 1)\,!} + \dots$$

$$- A_0 - A_1 (x + 2c) - A_2 \frac{(x+3c)^2}{2\,!} - \dots - A_{n-1} \frac{(x+nc)^{n-1}}{(n-1)\,!} - \dots \equiv 0$$

(1) E. BEKE se place à un point de vue différent du nôtre ; il recherche pour l'équation (4) une solution développable ainsi que sa dérivée en série trigonométrique (*Enc. Sc. Math.*, II, 5, fasc. 1, 73).

Pour qu'une telle identité ait lieu, il suffit de prendre

$$A_0 = A_1 = A_2 = \dots \qquad = A_{n-1} = A_n = \dots = C,$$

C désignant ici une constante arbitraire.

D'où pour l'équation (4) une solution formelle

$$\omega(x) = C\left[1 + \frac{x+c}{1\,!} + \frac{(x+2\,c)^2}{2\,!} + \dots + \frac{(x+n\,c)^n}{n\,!} + \dots\right]$$

La série du second membre, ainsi que la série obtenue par dérivation, converge uniformément dans un domaine quelconque (n° 2, exemple 1) pourvu que le nombre c pris en valeur absolue, soit inférieur à $\frac{e}{1}$ ($e = 2{,}718\dots$).

Quand on y fait $c=0$, on trouve l'intégrale générale $C\,e^x$ de l'équation différentielle

$$y' - y = 0,$$

à laquelle se réduit l'équation (4) si l'on suppose c nul.

L'étude de la convergence des séries obtenues est essentielle et il y a lieu, pour atteindre le cas général de l'équation (1), de rechercher des conditions de convergence pour la série

$$\alpha_0 + \alpha_1(x+c) + \dots \qquad + \alpha_n(x+n\,c)^n + \dots$$

Etude de la série $\sum_0^\infty \alpha_n\,(x+n\,c)^n$

2. *Théorème I.* — Si le nombre c n'est pas nul la série $\sum_0^\infty \alpha_n\,(x+n\,c)^n$ est convergente, quel que soit x, si la plus grande limite de

$$n\,|c|\sqrt[n]{|\alpha_n|}$$

est inférieure à l'unité ; elle est divergente, quel que soit x, si cette plus grande limite est supérieure à l'unité.

Soit λ cette plus grande limite. Si λ est inférieur à 1 il existe seulement un nombre fini de termes de la suite

$$n\,|c|\sqrt[n]{|\alpha_n|}$$

supérieurs $\lambda+\varepsilon$, ε positif quelconque. On peut donc trouver un nombre α inférieur à l'unité tel que l'on ait, pour n assez grand,

$$n\,.\,|c|\,.\sqrt[n]{|\alpha_n|} < \alpha$$

D'autre part

$$\sqrt[n]{|\alpha_n|\,.\,|x+nc|^n} = \sqrt[n]{|\alpha_n|}\,.\,|x+nc| \leqslant \sqrt[n]{|\alpha_n|}\,\{|x| + n\,|c|$$

On peut encore écrire puisque c est, par hypothèse, différent de zéro,

$$\sqrt[n]{|\alpha_n| \cdot |x + nc^n|} \leqslant n\,|c| \sqrt[n]{|\alpha_n|} \left\{ 1 + \frac{|x|}{n\,|c|} \right\} \tag{2}$$

Et à fortiori, en vertu des inégalités (1) et (2), mais pour n assez grand,

$$\sqrt[n]{|\alpha_n|\,|x + nc|^n} < \alpha + \alpha \frac{|x|}{n\,|c|} \tag{3}$$

α est un nombre indépendant de n ; le terme $\alpha \dfrac{|x|}{n\,|c|}$ tend vers zéro pour n infini ; le second membre de l'inégalité (3) finit donc par rester inférieur à un nombre K plus petit que l'unité, si l'on suppose n assez grand. Par suite

$$|\alpha_n| \cdot |x + nc|^n < K^n \tag{4}$$

La série considérée

$$\sum_0^\infty \alpha_n (x + nc)^n$$

est donc absolument convergente et par suite convergente.

La seconde partie du théorème se démontre d'une manière analogue ; on fait cette fois intervenir une autre propriété de la plus grande limite d'une suite : si cette plus grande limite est λ, il existe une infinité de tomes de la suite supérieurs à $\lambda - \varepsilon$ (ε, positif quelconque).

Corollaire I. — Soit c différent de zéro ; la série

$$\sum_0^\infty \alpha^n (x + nc)^n$$

est convergente quel que soit x, si la suite

$$n\,|c| \sqrt[n]{|\alpha_n|}$$

admet une limite déterminée inférieure à l'unité ; si cette limite est supérieure à l'unité la série diverge quel que soit x.

Corollaire II. — Soit c différent de zéro; si la plus grande limite de

$$n\,|c| \sqrt[n]{|\alpha_n|}$$

est inférieure à l'unité, la série

$$\sum_0^\infty \alpha_n (x + nc)^n$$

converge uniformément quand x varie dans un domaine fini.

Dans un tel domaine la valeur absolue de x reste inférieure à un nombre positif A ; on a

$$|\alpha_n (x + nc)^n| < |\alpha_n| \cdot [A + n |c|]^n$$

Le second membre est le terme général d'une série numérique convergente, en vertu du théorème I ; la série de l'énoncé converge uniformément.

Il est utile pour la résolution de l'équation fonctionnelle (1) d'examiner les deux cas particuliers suivants.

1re série :

$$1 + \sum_1^\infty \frac{\beta^n (x + nc)^n}{n\,!} \qquad \text{(I)}$$

(β, nombre donné).

On a actuellement

$$\alpha_n = \frac{\beta^n}{n\,!}$$

et par suite

$$n\,|c| \sqrt[n]{|\alpha_n|} = n\,|c| = n\,|c| \frac{\beta}{\sqrt[n]{n\,!}}$$

D'où

$$\lim_{n \to \infty} n\,|c| \sqrt[n]{|\alpha_n|} = |\beta|\,|c| \lim_{n \to \infty} \frac{n}{\sqrt[n]{n\,!}} = |\beta|\,|c|\,e$$

La série considérée est donc convergente (corollaire I) pour les valeurs de $|c|$ inférieures à $\frac{1}{|\beta|\,e}$ (1) ; elle diverge pour les valeurs de $|c|$ supérieures à $\frac{1}{|\beta|\,e}$

2e série :

$$1 + \sum_1^\infty \frac{n^q \beta^n (x + nc)^n}{n\,!} \qquad \text{(II)}$$

(q, nombre entier positif).

La conclusion est identique à celle de l'exemple I.

3. *Théorème* II. — Si la série

$$\sum_0^\infty \alpha_n (x + nc)^n$$

est convergente pour une valeur de c différente de zéro elle converge, quel que soit x, quand c est égal à zéro.

(1) Y compris la valeur $c=0$; car si c est nul on obtient le développement en série entière de $e^{\beta x}$

La convergence, d'ailleurs évidente, des deux séries particulières ci-dessus pour $c=0$, est une conséquence de cet énoncé.

4. *Théorème* III. — Si la plus grande limite de la suite

$$n\,|c|\sqrt[n]{|\alpha_n|}$$

est inférieure à l'unité et si c n'est pas nul les séries obtenues en dérivant sur le compte de x, un nombre arbitraire de fois, la série

$$\sum_0^\infty \alpha_n\,(x+nc)^n$$

sont absolument convergentes ; de plus la convergence est uniforme quand x varie dans un domaine fini.

On peut employer pour la démonstration la méthode par récurrence.

Recherche d'une solution qui dépend de n *constantes arbitraires pour l'équation :*

$$y^{(n)}(x)+a_1\,y^{(n-1)}(x+c)+\ldots\ldots+a_n\,(x+nc)=0 \tag{1}$$

5. *Théorème d'existence.* — Il existe une série

$$y\,(x)=A_0+A_1\frac{x+c}{1\,!}+A_2\frac{(x+2c)^2}{2\,!}+\ldots\ldots A_p\frac{(x+pc)^p}{p\,!}+\ldots \tag{2}$$

dont les coefficients A sont indépendants de x et de c, et qui satisfait à l'équation (1) pour toute valeur de x et pour des valeurs de $|c|$ inférieures à un nombre positif R.

Nous allons tout d'abord rechercher une série de la forme (2) qui satisfait formellement à l'équation (1) ; l'analyse faite au paragraphe précédent nous permettra ensuite de montrer qu'une telle série et ses dérivées successives convergent uniformément quand x varie dans un domaine fini et pour des valeurs de $|c|$ inférieures à un nombre positif R.

La série (2) s'écrit, sous forme abrégée,

$$y\,(x)=A_0+\sum_{p=1}^{\infty}A_p\frac{(x+pc)^p}{p\,!} \tag{2'}$$

et sa dérivée d'ordre $n-k$ $[k=0,\,1,\,2\ldots\,(n-1)]$

$$y^{(n-k)}(x)=A_{n-k}+\sum_{p=1}^{\infty}A_{n+p-k}\frac{[x+(p+n-k)\,c]^p}{p\,!}$$

Pour que la série (2′) satisfasse à l'équation fonctionnelle (1) il faut et il suffit que l'on ait, quel que soit x,

$$\begin{gathered}A_n+a_1\,A_{n-1}+\ldots\ldots+a_n\,A_0\\+\sum_{p=1}^{\infty}\frac{[x+(p+n)\,c]^p}{p\,!}\,[A_{n+p}+a_1\,A_{n+p-1}+\ldots+a_n\,A_p]=0\end{gathered} \tag{3}$$

Cette dernière relation sera identiquement vérifiée si les coefficients A satisfont pour la valeur zéro de p et pour toute valeur entière et positive de p à l'équation

$$A_{n+p} + a_1 A_{n+p-1} + \dots + a_n A_p = 0$$

qu'on peut considérer comme une équation aux différences finies d'ordre n.

La solution générale dépend linéairement de n constantes arbitraires; on l'obtient en résolvant l'équation caractéristique

$$r^n + a_1 r^{n-1} + \dots + a_{n-1} r + a_n = 0 \qquad (5)$$

Soient $r_1, r_2, \dots r_k$ les racines, réelles ou imaginaires, de cette équation; $\alpha, \beta, \dots \lambda$ les ordres de multiplicité.

La solution générale de l'équation (5) est, quand on suppose a_n différent de zéro,

$$\begin{aligned} A_p = & (\mathcal{A}_1 p^{\alpha-1} + \mathcal{A}_2 p^{\alpha-2} + \dots + \mathcal{A}_\alpha) r_1^p \\ & + (\mathcal{B}_1 p^{\beta-1} + \mathcal{B}_2 p^{\beta-2} + \mathcal{B}_\beta) r_2^p \\ & + (\mathcal{L}_1 p^{\lambda-1} + \mathcal{L}_2 p^{\lambda-2} + \dots + \mathcal{L}_\lambda) r_k^p , \end{aligned}$$

expression dans laquelle

$$\mathcal{A}_1, \dots, \mathcal{A}_{\alpha_1}; \dots; \mathcal{L}_1, \dots \mathcal{L}_\lambda$$

désignent des constantes arbitraires.

La série (2) dans laquelle le coefficient A_p a la forme (6) satisfait formellement à l'équation (1); il reste à montrer qu'elle converge ainsi que ses dérivées successives pour des valeurs de $|c|$ inférieures à un nombre positif R convenablement choisi.

Prenons R égal au plus petit des nombres positifs

$$\frac{1}{|r_1|e}, \quad \frac{1}{|r_2|e}, \dots \quad \frac{1}{|r_k|e},$$

en vertu du théorème d'addition des séries et des conditions de convergence des séries particulières étudiées à la fin du n° 2, la série (2) dans laquelle A_p a la forme (6) est convergente si $|c|$ est inférieur à R, divergente si $|c|$ est supérieur à R.

Il en est de même, d'après le théorème III (n° 4) des dérivées successives de la série (2). D'ailleurs la convergence est uniforme dans tout domaine fini.

Le théorème d'existence, sous la forme que nous lui avons donnée au début du numéro actuel, est ainsi démontré; le raisonnement suppose a_n non nul, mais cette restriction peut être levée.

6. Le théorème d'unicité s'énonce comme suit : Si une série de la forme

$$B_0 + B_1 (x + c) + B_2 \frac{(x + 2c)^2}{2!} + \dots + B_p \frac{(x + pc)^p}{p!} + \dots \qquad (7)$$

B_p étant indépendant de x et de c, vérifie l'équation fonctionnelle (1), le coefficient B_p a nécessairement la forme (6); autrement dit on peut l'obtenir en fixant la valeur des constantes qui figurent dans l'expression (6) de A_p.

7. *Remarque* 1. — Une autre démonstration du théorème d'existence consiste à faire usage de la théorie des équations symboliques linéaires à coefficients constants (*Enc. Sc. Math.* t. II, V. 5, Fasc. 1, p. 14).

On écrit symboliquement :

$$y'(x) - a\,y(x+c) \equiv (D-a)\,y$$

On vérifie ensuite que

$$y^{n)}(x) + a_1\,y^{(n-1)}(x+c) + \ldots + a_n\,y(x+nc) = (D-r)\ldots(D-r_n)\,y$$

$r_1, r_2, \ldots\ r_n$ désignent ici les racines du polynome caractéristique

$$r^n + a_1 r^{n-1} + \ldots + a_{n-1} r + a_n.$$

On est ainsi ramené à s'occuper uniquement de l'équation du premier ordre

$$y'(x) - r\,y(x+c) = 0.$$

Remarque 2. — Les résultats précédents, convenablement modifiés, s'étendent à l'équation avec second membre

$$y^{(n)}(x) + a_1\,y^{(n-1)}(x+c) + \ldots + a_n\,y(x+nc) = b_0 + \sum_{p=1}^{\infty} b_p \frac{(x+pc)^p}{p\,!}$$

et au système d'équations fonctionnelles

$$y'_1(x) = a_1 y_1(x+c) + b_1 y_2(x+c) + \ldots + l_1 y_n(x+c) \quad (i=1\ \ldots, n)$$

SUR QUELQUES LIMITATIONS DU MODULE D'UNE FONCTION HOLOMORPHE ET DE SA DÉRIVÉE SUR UN CERCLE

par F. SIMONART,

Professeur à l'Université de Louvain

---

1. — D'une limitation *globale* M = 1 du module d'une fonction holomorphe $f(z)$ dans le cercle unité $|z|<1$, on déduit, par le lemme de Schwarz, une limitation *locale* de $|f(z)|$ valable pour tout cercle concentrique intérieur $|z|\leqslant r$, $|r<]$. Ce lemme exprime, en effet, que si dans la transformation $[z, f(z)]$ l'origine reste invariante et $|f(z)|<1$, alors $|f(z)|\leqslant|z|$, l'égalité n'ayant lieu que pour la fonction $f(z) = e^{i\theta} z$. En d'autres termes, si ce n'est une rotation, la transformation $[z, f(z)]$ réduit la distance au centre.

Si l'origine est un zéro d'ordre k pour $f(z)$, on a

$$|f(z)|<|z^k|$$

sauf si

$$f(z) = e^{i\theta} z^k.$$

On doit à M. J.-L. Jensen une limitation meilleure de $|f(z)|$ faisant intervenir tous les zéros de $f(z)$ intérieurs au cercle unité. Sa formule

$$|f(z)| \leqslant r^{\lambda} \prod_{i=1}^{n} \frac{r+r_i}{1+r\,r_i},$$

où r_i désigne le module du zéro a_i de $f(z)$ et λ l'ordre de multiplicité de l'origine, généralise, comme on le voit en supprimant les n facteurs du produit Π le lemme de Schwarz.

Les principaux résultats ([1]) relatifs à la limitation de $|f(z)|$ et de $|f'(z)|$ sont dus à MM. Lindelöf et Carathéodory qui les ont obtenus par l'emploi des transformations homographiques ou linéaires. On peut toujours, à une telle transformation près sur la variable et sur la fonction, être ramené au cas où le point invariant dans la transformation $[z, f(z)]$ est l'origine des coordonnées dans le plan (z) et dans le plan de $f(z)$ et rétablir ainsi les conditions du lemme de Schwarz.

Cette remarque a été mise à profit par M. G. Julia (1920) pour étendre ce lemme au cas où les points invariants de la transformation sont situés

([1]) Pour la bibliographie, consulter G. JULIA, *Principes géométriques d'analyse*, Cahiers scientifiques, fasc. **6** (1930).

sur la circonférence unité et par M. R. Nevanlinna dans le cas des hypercycles (1929).

De nouvelles limitations de $|f(z)|$ et de $|f'(z)|$ ont été signalées récemment par M. J. Dieudonné [1] à l'occasion d'un problème posé par M. Montel dans son cours de 1930 sur le rayon maximum d'univalence d'une fonction holomorphe sur le cercle unité.

Nous nous proposons dans cette note, d'établir, par la méthode des transformations linéaires quelques limitations d'une fonction $f(z)$ holomorphe et bornée sur un cercle quelconque ; nous en déduirons de nouvelles limitations pour $|f'(z)|$ et une solution très simple du problème de M. Montel.

2. — Soit $Z=f(z)$ une fonction analytique de la variable complexe z, holomorphe et de module $|f(z)|\leqslant M$ sur le cercle $|z|<R$.

Posons $A=f(o)$ et considérons la fonction

$$U=\varphi(z)=M^2\frac{Z-A}{\bar{A}Z-M^2}.$$

La transformation $Z|U$ conserve le cercle $|Z|\leqslant M$ en amenant le point A à l'origine. Ainsi, la fonction $\varphi(z)$ est holomorphe sur le cercle $|z|<R$ et vérifie, sur ce domaine, les conditions

$$\varphi(o)=o, \qquad |\varphi(z)|\leqslant M.$$

Le lemme de Schwarz s'applique à $\varphi(z)$: l'inégalité

$$|z|\leqslant R\theta, \qquad (o<\theta<1)$$

entraîne

$$|U|=|\varphi(z)|\leqslant\frac{M}{R}|z|,$$

ou

$$M\left|\frac{Z-A}{\bar{A}Z-M^2}\right|\leqslant\frac{|z|}{R}$$

l'égalité n'ayant lieu que pour la fonction

$$Z=M\frac{R-\lambda z}{R\bar{\lambda}-z}$$

où λ est une constante arbitraire de module supérieur à un, auquel cas $f(z)$ est homographique et change l'intérieur du cercle $|z|<R$ dans l'intérieur du cercle $|Z|\leqslant M$.

Ecartant ce cas banal, cela veut dire que si Z décrit le cercle $|Z|<R\theta$, le point U décrira une surface de Riemann tout entière intérieure au cercle $U\leqslant M\theta$ et qui comprendra l'origine dans son intérieur ; la fonction Z elle-même décrira une surface de Riemann intérieure au cercle (Γ) transformé du précédent par la substitution $Z|U$ et qui comprendra le point A

[1] *Sur quelques applications du lemme de Schwarz*, C. R. Acad. des Sc., **190**, 716 (1930).

dans son intérieur. Il en résulte que si $|Z_1|$ et $|Z_2|$ sont les modules des extrémités du diamètre Z_2 O A Z_1 du cercle (Γ), on peut écrire

$$|Z_2| < |f(z)| < |Z_1|$$

dès que $$|z| < R\,\theta.$$

Pour calculer $|Z_1|$ et $|Z_2|$, on a les équations .

$$M \frac{|Z_1| - A}{|A|\,|Z_1| - M^2} = -\theta\,, \qquad M \frac{|Z_2| - A}{|A|\,|Z_2| - M^2} = \theta$$

d'où l'on tire

$$|Z_1| = M \frac{|A| + M\theta}{M + |A|\theta}, \qquad |Z_2| = M \frac{|A| - M\theta}{M - |A|\theta}\,.$$

Nous obtenons ainsi le théorème suivant :

Théorème I. — *Soient* f(z) *une fonction holomorphe, de module* $|f(z)| \leqslant M$ *dans le cercle* $|z| < R$; θ *un nombre réel, positif, inférieur à un. L'inégalité*

$$|z| \leqslant R\,\theta$$

entraîne les inégalités

$$(1) \qquad M \frac{|f(0)| - M\theta}{M - |f(0)|\theta} \leqslant |f(z)| \leqslant M \frac{|f(0)| + M\theta}{M + |f(0)|\theta}\,,$$

l'égalité n'ayant lieu que pour la fonction

$$(2) \qquad f(z) = M \frac{R - \lambda z}{\bar{\lambda} R - z}$$

où λ *désigne une constante arbitraire de module supérieur à un.*

En particulier, pour tout point z *intérieur au cercle* $|z| < R$, *on a*

$$(3) \qquad M \frac{R\,|f(0)| - M r}{M R - |f(0)|\,r} \leqslant |f(z)| \leqslant M \frac{R\,|f(0)| + M r}{M R + |f(0)|\,r}\,,$$

l'égalité ne pouvant être atteinte que si $f(z)$ *est homographique et fait la représentation du cercle* $|z| < R$ *sur le cercle* $|Z| \leqslant M$.

3. — Si l'on observe que les deux fonctions homographiques de $|f(o)|$ qui figurent dans les membres extrêmes de (1) croissent lorsque $|f(o)|$ varie de 0 à M, le théorème précédent se généralise immédiatement dans le suivant :

Théorème II. — *Soient* f(z) *une fonction holomorphe, de module* $|f(z)| \leqslant M$ *dans le cercle* $|z| < R$; M_1, M_2, θ *trois nombres réels satisfaisant aux conditions*

$$0 < M_2 \leqslant |f(0)| \leqslant M_1 < M, \qquad |0 < \theta < 1|\,;$$

alors, pour toute valeur de z telle que $|z| \leqslant R\theta$, *on a les inégalités :*

$$\text{(4)} \qquad M\frac{M_2 - M\theta}{M - M_2\theta} \leqslant |f(z)| \leqslant M\frac{M_1 + M\theta}{M + M_1\theta},$$

l'égalité n'ayant lieu que pour la fonction (2)

$$f(z) = M\frac{R - \lambda z}{\lambda R - z}.$$

A elle seule la seconde inégalité (4), qui a été obtenue par M. Carathéodory [1], constitue une extension du lemme de Schwarz. Si l'on pose $M_1 = f(0) = 0$, le théorème II exprime, en effet, que $|z| < R$ entraîne $|f(z)| \leqslant M\frac{|z|}{R}$ l'égalité n'ayant lieu que si $f(z) = \frac{a}{\bar{a}}M\frac{|z|}{R}$, a désignant une constante arbitraire.

4. — Plus généralement, soit a à un point quelconque intérieur au cercle $|z| < R$. La transformation

$$u = R^2\frac{z - a}{\bar{a}z - R^2} \qquad \text{ou} \qquad z = R^2\frac{a - u}{R^2 - \bar{a}u}$$

qui conserve le cercle, a devenant O, change $f(z)$ dans une fonction $\psi(u)$ holomorphe et de module $|\psi(u)| \leqslant M$ dans le cercle $|u| < R$.

D'ailleurs, les valeurs extrêmes de $|z|$, quand u décrit le cercle $|u| = R\theta$, $0 < \theta < 1$, sont données par

$$z_1 = R\frac{|a| + R\theta}{R + |a|\theta}, \qquad z_2 = R\frac{|a| - R\theta}{R - |a|\theta}.$$

Les théorèmes I et II s'appliquent à la fonction $\psi(u)$; revenant à $f(z)$, on peut alors énoncer le suivant :

Théorème III. — *Soient* f(z) *une fonction holomorphe, de module* $|f(z)| \leqslant M$ *dans le cercle* $|z| < R$; a, *un point intérieur au cercle ;* M_1, M_2, θ *trois nombres réels satisfaisant aux conditions*

$$0 < M_2 \leqslant |f(a)| \leqslant M_1 < M, \qquad 0 < \theta < 1.$$

Alors, pour toute valeur de z telle que

$$R\frac{|a| - R\theta}{R - |a|\theta} \leqslant |z| \leqslant R\frac{|a| + R\theta}{R + |a|\theta},$$

on a les inégalités

$$\text{(5)} \qquad M\frac{|f(a)| - M\theta}{M - |f(a)|\theta} \leqslant |f(z)| \leqslant M\frac{|f(a)| + M\theta}{M + |f(a)|\theta},$$

[1] Untersuchungen über die Konforme Abbildungen von festen une Veränderlichen Gebieten, Math. An., **72**, 107 (1912).

(6) $$M \frac{M_2 - M\theta}{M - M_2\theta} \leqslant |f(z)| \leqslant M \frac{M_1 + M\theta}{M + M_1\theta},$$

l'égalité n'ayant lieu que si f(z) *est homographique et fait la représentation du cercle* $|z| < R$ *sur le cercle* $|Z| < M$.

Nous allons appliquer ces résultats à la recherche de limitations pour $|f'(z)|$.

5. — Soit $Z = f(z)$ une fonction holomorphe, de module $|f(z)| < M$, dans le cercle $|z| < 1$, s'annulant à l'origine supposée zéro simple pour $f(z)$.

On peut écrire

$$f(z) = f'(0)z + \ldots = z[f'(0) + \ldots] = z\varphi(z), \quad [f'(0) \neq 0]$$

et, pour $|z| < 1$,

$$|\varphi(z)| = \left|\frac{f(z)}{z}\right| \leqslant M, \ |\varphi(0)| = |f'(0)| \leqslant M,$$

l'égalité ne pouvant être atteinte que si $f(z) = e^{i\omega} M z$.

Le théorème I s'applique à $\varphi(z) = \dfrac{f(z)}{z}$ et l'on obtient

(7) $$M r \frac{|f'(0)| - M\theta}{M - |f'(0)|\theta} \leqslant |f(z)| \leqslant M r \frac{|f'(0)| + M\theta}{M + |f'(0)|\theta}$$

dès que $|z| \leqslant \theta$

En particulier, pour tout point z intérieur au cercle unité, on aura :

(8) $$M r \frac{|f'(0)| - M r}{M - |f'(0)| r} \leqslant |f(z)| \leqslant M r \frac{|f'(0)| + M r}{M + |f'(0)| r}$$

l'égalité n'ayant lieu que pour la fonction

$$f(z) = M \frac{1 - \lambda z}{\lambda - z},$$

λ désignant un nombre de module supérieur à un.

Des inégalités (8) on déduit

(9) $$M \frac{f(z) - M r^2}{r[M - |f(z)|]} \leqslant |f'(0)| \leqslant M \frac{|f(z)| + M r^2}{r[M + |f(z)|]}$$

Effectuons sur z et sur Z les transformations

$$u = \frac{z - a}{\bar{a} z - 1}, \qquad U = M^2, -\frac{z - f(a)}{\overline{f(a)}\, z - M^2} \qquad (|a| < 1),$$

transformations qui conservent les cercles $|z| < 1$, $|Z| < M$ en amenant a et $f(a)$ à l'origine.

La fonction holomorphe $U = \psi(u)$ est telle que

$$\psi(0) = 0, \qquad |\psi(u)| < M \text{ pour } |u| < 1.$$

Un calcul facile montre ensuite que l'on a

$$\Psi'(0) = \frac{M^2}{M^2 - |f(a)|^2} f'(a)(1 - r^2) .$$

L'application de la formule (9) à $\psi(u)$ donne, en revenant à $f(z)$ et en observant que a est un point quelconque du cercle unité,

$$\frac{\left[|f(z)| - |M r^2|\right]\left[M + |f(z)|\right]}{M r (1 - r^2)} \leqslant |f'(z)| \leqslant \frac{\left[|f(z)| + M r^2\right]\left[M - |f(z)|\right]}{M r (1 - r^2)} \qquad (10)$$

l'égalité n'ayant lieu que si

$$f(z) = M z \frac{1 - \lambda z}{\bar{\lambda} - z} .$$

Ce sont là les inégalités signalées par M. Dieudonné.

Si la fonction $f(z)$ est holomorphe sur le cercle $|z| < R$ et qu'on observe que, pour $|z| < R$,

$$[R^2 |f(z)| + M r^2] \quad [M - |f(z)|] < M^2 r.$$

de (10) on déduit, pour $|f'(z)|$, la limitation supérieure

$$|f'(z)| < \frac{M R}{R^2 - r^2}$$

qui a été employée par M. Carathéodory (¹) dans le problème de la représentation conforme.

6. — *Plus généralement, supposons que l'origine soit un zéro multiple d'ordre* μ *pour* $f(z)$, *fonction holomorphe et de module* $|f(z)| \leqslant M$ *sur le cercle unité.*

Posant $f(z) = z^\mu \varphi(z)$, on a encore, pour $|z| < 1$,

$$|\varphi(z)| \leqslant M , \qquad \varphi(0) = \frac{f^{(\mu)}(0)}{\mu !} \leqslant M ,$$

l'égalité ne pouvant avoir lieu que si $f(z) = e^{i\omega} M z$.

Si l'on applique le théorème I à $\varphi(z)$, *on trouve les inégalités*

$$M \mu ! \frac{|f(z)| - M r^{\mu+1}}{r\left[M r^{\mu-1} - |f(z)|\right]} \leqslant f^{(\mu)}(0) \leqslant M \mu ! \frac{|f(z)| + M r^{\mu+1}}{r\left[M r^{\mu-1} + |f(z)|\right]}$$

l'égalité ne pouvant être atteinte que si

$$f(z) = M z^\mu \frac{1 - \lambda z}{\bar{\lambda} - z} , \quad (|\lambda| > 1) .$$

(¹) *Elementarer Beweis für den Fundamentalsatz der Konformen Abbildungen*, Mathematische Abhandlungen Herman Schwarz, zu seinem fünfzigjärigen Doktorjubiläum am 6. August 1914 (Julius Springer, Berlin).

7. — Nous allons appliquer les limitations trouvées à la résolution du problème suivant posé par M. Montel. *Soit* $f(z)=z+\ldots$ *une fonction holomorphe, de module* $|f(z)|\leqslant M$ *sur le cercle unité : Trouver le plus grand cercle* $|z|<r$ *dans lequel* $f(z)$ *est univalente.*

Il revient à trouver le plus grand cercle dans lequel $f'(z)$ ne s'annule pas. Le rayon maximum R de ce cercle sera fourni par l'inéquation

$$0\leqslant|f_1(z)|-Mr^2$$

où, à cause de (8),

$$f_1(z)=\frac{M r(1-r^2)}{M-r}.$$

On trouve l'inéquation

$$r^2-2Mr+1\geqslant 0$$

d'où l'on tire

$$R=\frac{1}{M+\sqrt{M^2-1}}.$$

La limite est effectivement atteinte pour la fonction

$$f(z)=\frac{M z(1-z)}{M-z}$$

dont la dérivée s'annule pour $z=R$.

La question peut revêtir une autre forme signalée par M. Dieudonné : *Trouver le plus grand cercle représenté par $f(z)$ sur un domaine étoilé.*

D'un domaine fermé D on dit qu'il est *étoilé* par rapport à un point O intérieur à D, si un segment OA joignant le point O à un point A quelconque du contour a tous ses points sauf A, intérieurs à D ; ou, ce qui revient au même, si l'argument de A varie dans un sens déterminé lorsque A décrit le contour dans un sens déterminé.

Soit D le transformé par $Z=f(z)=z+\ldots$ d'un cercle $|z|<r$. Cherchons la condition pour que D soit étoilé. Sur la circonférence $|z|=r$, on a

$$dz=iz\,d\theta, \qquad (z=re^{i\theta}).$$

D'ailleurs, de

$$\operatorname{Log} f(z)=\operatorname{Log}|f(z)|+i\arg. f(z)$$

on déduit par dérivation

$$\frac{izf'z}{f(z)}=\frac{d}{d\theta}\operatorname{Log}|f(z)|+i\frac{d}{d\theta}\arg. f(z)$$

d'où

$$\frac{d}{d\theta}\arg. f(z)=\mathcal{R}\left[\frac{zf'(z)}{f(z)}\right].$$

La condition cherchée s'écrit

$$\mathcal{R}\left[\frac{zf'(z)}{f(z)}\right]=\mathcal{R}\left[1+\frac{z'\varphi(z)}{\varphi(z)}\right]\geqslant 0 \text{ pour } |z|=r.$$

A cause de

$$0 \leqslant 1 - \left| \frac{z\,\varphi'(z)}{\varphi(z)} \right| \leqslant R \left| 1 + \frac{z\,\varphi'(z)}{\varphi(z)} \right| ,$$

elle est équivalente à

$$\left| \frac{z\,\varphi'(z)}{\varphi(z)} \right| = \left| \frac{z\,f'(z)}{f(z)} - 1 \right| \leqslant 1$$

ou à $|f'(z)| \geqslant 0$ pour $|z| = r$.

DE QUELQUES PROBLÈMES D'ANALYSIS SITUS

par A. ERRERA,

Professeur à l'Université de Bruxelles

---

§ 1. *Introduction.* — Enumérer les configurations de certains types est un problème d'*analysis situs* qui a retenu l'attention de plus d'un chercheur. JORDAN (Crelle, 1869) dénombra les assemblages de lignes ; tandis que l'énumération des polyèdres possibles est à peine ébauchée. Nous allons étudier ici plusieurs problèmes de cette espèce.

§ 2. *Le problème 1 aux arcs quelconques.* — Dans le demi-plan supérieur déterminé par l'axe des x, traçons p *arcs* de Jordan ($p \geqslant 1$) sans points communs deux à deux et reposant sur l'axe par leurs seules extrémités, qui seront les $2p$ *sommets* de la figure F_p. De combien de manières la chose est-elle possible?

Nous avons le droit de supposer que les arcs sont des demi-circonférences. Et nous représenterons par N_p le nombre cherché, c'est-à-dire le nombre des figures F_p. Le demi-plan est divisé en $p+1$ régions ou *faces* par les p arcs. Numérotons les sommets 1, 2,..., $2p$ de gauche à droite. Seront dits *liés*, deux sommets réunis par un arc ; l'un sera pair, l'autre impair.

Deux arcs d'un F_p appartiendront à un même *système*, si l'un des deux est enfermé par l'autre et par l'axe des x, ou bien s'il en existe un troisième qui, avec cet axe, les enferme tous les deux. Les p arcs d'un F_p se répartissent en un certain nombre s de systèmes.

§ 3. *Détermination de* N_p. — Si nous enlevons d'une figure F_{p+1}, formée de s systèmes, l'arc aboutissant au dernier sommet, nous obtiendrons une figure F_p, formée d'au moins $s-1$ systèmes, si l'on a $s \geqslant 2$, et d'au moins s, si l'on a $s=1$.

Si nous appelons $N_{p,s}$ le nombre des F_p formés de s systèmes, donc $N_{p,0}=0$, $N_{1,1}=1$ nous aurons la formule de récurrence ($p \geqslant 1$, $s \geqslant 1$)

$$N_{p+1,s} = \sum_{\nu=s-1}^{p} N_{p,\nu} \cdots \qquad (1)$$

Les nombres $N_{p,s}$ sont ceux du tableau I et l'on y reconnaît l'*échiquier triangulaire* de DELANNOY (LUCAS, *Théorie des nombres*, 1891, p. 84) à peine modifié.

On en tire la relation

$$N_p = N_{p+1,1} = N_{p+1,2}$$

Le problème 1 est résolu, les nombres N_p étant ceux de la première colonne décalés d'un rang et on posera $N_0 = 1$.

TABLEAU I. — $N_{p,s}$.

$s=$	1	2	3	4	5	6	7	8........
$p=1$	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0
3	2	2	1	0	0	0	0	0
4	5	5	3	1	0	0	0	0
5	14	14	9	4	1	0	0	0
6	42	42	28	14	5	1	0	0
7	132	132	90	48	20	6	1	0
8	429	429	297	165	75	27	7	1
.								
.								
.								

M. SAINTE-LAGUË connaissait ce résultat en 1913.

§ 4. *Le problème 2 aux arcs déterminés.* — Si nous supposons que m arcs sont fixés, il restera un certain nombre de possibilités pour la liaison des $2p-2m$ sommets non utilisés : le demi-plan est divisé en $m+1$ faces, à l'intérieur de l'une quelconque desquelles, la i^{me}, nous aurons, par exemple, p_i arcs à tracer, ce qui pourra se faire de N_{p_i} manières.

On a
$$\sum_{i=1}^{m+1} p_i = p - m ;$$

le nombre total des possibilités sera

$$\prod_i^{m+1} N_{p_i}.$$

Appliquons ce résultat au calcul direct de N_{p+1} : il suffit de considérer le dernier arc comme fixé, donc $m=1$, ce qui divise le demi-plan en deux faces et l'on obtient la relation

$$N_{p+1} = \sum_{\nu=0}^{p} N_\nu N_{p-\nu} .$$

On trouvera dans LUCAS (*loc. cit.*) des propriétés des nombres N_p et $N_{p,s}$; on peut, par exemple, les exprimer en fonction des nombres de com-

binaisons et l'on trouve

$$N_{p,s} = \frac{s\ (2p - s - 1)\,!}{p\ (p - s)\,!\ (p - 1)\,!}, \quad \text{d'où} \quad N_p = \frac{1}{p+1}\ \frac{(2p)\,!}{p\,!}.$$

Cet auteur indique toute une série de problèmes qui donnent naissance à ces mêmes nombres, notamment la division des polygones en triangles par des diagonales.

§ 5. *Le problème 3 des figures réductibles.* — Nous dirons qu'une figure F_p est *réductible*, si les $2\,p$ points se répartissent en d groupes, $d > 1$, de $2l$ points consécutifs, tels que les liaisons se fassent à l'intérieur des groupes et *de la même manière* dans chacun. On a $2\,l\,d = 2\,p$, donc $l = \frac{p}{d}$. Si δ divise d, ce qu'on écrit $\delta | d$, et si $\lambda = \frac{p}{\delta}$, la figure F_p présentera aussi δ groupes de $2\,\lambda$ points.

Nous appellerons *ordre* de réductibilité de la figure F_p, la plus grande valeur de d, donnant donc le plus petit nombre $2\,l$ de points dans chaque groupe ; et nous poserons $L\left(p, \frac{p}{d}\right) = L\,(p, l) = L_l$, le nombre des figure F_p d'ordre d ; il est clair que ce nombre est indépendant de p. Par extension, s'il n'y a qu'un groupe, nous dirons que l'ordre d est 1 et que la figure est *irréductible* ; alors $l = p$ et le nombre des figures irréductibles sera représenté par L_p.

Soit l un diviseur de p, et soit encore $d = \frac{p}{l}$; divisons les $2\,p$ points en d groupes de $2\,l$ points consécutifs et considérons les N_l figures obtenues en joignant de toutes les manières possibles les points du premier groupe et en joignant chaque fois de la même manière ceux des autres groupes. Ce sont évidemment toutes les figures ayant l'ordre de réductibilité d ou un multiple de d, c'est-à-dire, si l' parcourt les diviseurs de l,

$$N_l = \sum_{l' | l} L_{l'} \tag{2}$$

En particulier, pour $l = p$, $d = 1$, cette relation devient, en négligeant l'accent,

$$N_p = \sum_{l | p} L_l$$

ce qui est d'ailleurs évident.

§ 6. *Renversement de la relation 2.* — Cette équation, répétée pour tous les diviseurs l de p, donnera les équations linéaires nécessaires pour déterminer les inconnues $L_{l'}$ qui sont d'ailleurs les nombres L_l. On sait que la fonction $\mu(m)$ envisagée par Dedekind et Liouville (voir Landau, *Handbuch*, **2**, p. 277), fonction que l'on pose $= 0$, si m est divisible par un carré, $= +1$, si $m = 1$ ou s'il est le produit d'un nombre pair de facteurs premiers et $= -1$, s'il est le produit d'un nombre impair de facteurs premiers, permet de résoudre ce genre de systèmes ; et l'on a la relation, où la valeur de L_l apparaît bien comme indépendante de p,

$$L_l = \sum_{l' \mid l} \mu(l')\, N_{\frac{l}{l'}} \tag{3}$$

On obtient, en tenant compte des valeurs de N_p (§ 3)

$L_1 = 1$; $L_2 = 1$; $L_3 = 4$; $L_4 = 12$; $L_5 = 41$; $L_6 = 126$; $L_7 = 428$; $L_8 = 1416$, etc...

§ 7. *Répartition des figures réductibles d'après le nombre de systèmes.*

Les L_l figures F_p ayant un ordre de réductibilité $\frac{p}{l} = d$ peuvent se classer d'après le nombre s des systèmes d'arcs (§ 1) de chacun des $\frac{p}{l}$ groupes de $2l$ points. Appelons $L_{l,s}$ le nombre de ces figures ayant s systèmes dans chacun des $\frac{p}{l}$ groupes ; nous trouverons, en vertu de (3),

$$L_l = \sum_{s=1}^{l} L_{l.s} = \sum_{l' \mid l} \mu(l') \sum_{\nu=1}^{\frac{l}{l'}} N_{\frac{l}{l'},\nu}.$$

Il s'ensuit, en représentant par (l, s) le P. G. C. D. de l et s, que

$$L_{l,s} = \sum_{l' \mid (l,s)} \mu(l')\, N_{\frac{l}{l'},\frac{s}{l'}} .$$

Nous ne donnons pas ici les premières valeurs de $L_{l,s}$, aisées à calculer.

§ 8. *Le problème 4 aux arcs quelconques dans la circonférence.* — Au lieu d'opérer dans le demi-plan supérieur, on peut le faire à l'intérieur d'une circonférence, les arcs devenant des cordes, ou considérer que l'axe des x est fermé à l'infini et qu'une figure F_p ne change pas, mais que seul son *aspect* change, si nous faisons passer le sommet 1 à droite du sommet $2p$, sans changer les liaisons, ce que nous appelons une *rotation élémentaire*. On demande le nombre H_p des figures *cycliquement distinctes*, en appelant ainsi celles qui ne sont pas des aspects l'une de l'autre.

On comptera donc séparément deux figures qui diffèrent par le sens de rotation, c'est-à-dire le sens de l'axe des x, à moins que l'une ne soit un aspect de l'autre.

Considérons donc les N_p figures F_p du problème 1. Un figure qui ne contiendrait aucune symétrie, apparaîtrait sous $2p$ aspects différents ; et s'il en était de même pour toutes, on aurait H_p en divisant N_p par $2p$.

Mais il arrivera que l'aspect initial d'une figure reparaisse plus tôt, c'est-à-dire pour la première fois après k rotations élémentaires, $k < 2p$; il est clair que k est alors un diviseur de $2p = k\,e$, $e > 1$ et que les $2p$ aspects se répartissent en e groupes de k aspects différents ; dans ce cas, nous dirons que la figure présente la *symétrie e*. Par extension, s'il n'y a pas de symétrie, nous dirons que la symétrie est 1 et nous poserons $e = 1$, $k = 2p$. Voici deux cas de symétrie :

D'abord les figures réductibles, $d > 1$; et l'on démontre que, dans ce cas, $d = e$.

Ensuite, le cas où p est impair et où les points 1 et $p+1$ sont liés, les

points $p+2, p+3, \ldots 2p$ étant liés entre eux de la même manière que les points $2, 3, \ldots p$, ce qui donne

$$N_{\frac{p-1}{2}}$$

figures.

Comme on connaît le nombre des figures réductibles et de leurs aspects et qu'on démontre qu'il n'y a pas d'autre cas de symétrie, cela permet de calculer le nombre H_p. Si l'on pose

$$S_p = \sum_{\substack{l \mid p \\ l<p}} 2\,l \sum_{s=1}^{l} \frac{1}{s} L_{l,s}$$

et, lorsque p est pair,

$$N_{\frac{p-1}{2}} = 0,$$

on trouve

$$H_p = \sum_{\substack{l \mid p \\ l<p}} \sum_{s=1}^{l} \frac{1}{s} L_{l,s} + N_{\frac{p-1}{2}} + \frac{1}{2p}\left(N_p - S_p - p\,N_{\frac{p-1}{2}}\right).$$

Cette formule nous donne, pour les premières valeurs de H_p : 1, 1, 2, 3, 6, 14, 34, 95,... De plus, elle établit que p divise $N_p - S_p$ et que, s'il est premier, il divise $N_p - 2$; que s'il est pair, N_p est pair et que s'il est impair, N_p et $N_{\frac{p-1}{2}}$ sont de même parité.

§ 9. *Le problème réciproque et celui de Jordan.* — Nous allons constituer une figure réciproque de F_p, en plaçant dans chaque région du demi-plan un *sommet auxiliaire* et en joignant deux à deux les sommets auxiliaires par des lignes de Jordan ou *arcs auxiliaires* qui n'ont pas d'autres points communs et qui traversent chacune une et une seule fois l'arc séparant les faces correspondant à ses extrémités. Il est clair que cette figure réciproque est un *arbre* ou assemblage de lignes à continuité simple, c'est-à-dire un réseau ne contenant aucun circuit fermé ; il s'agit ici d'un arbre tracé *dans le plan.*

Les développements qui précèdent établissent que le nombre de ces arbres en fonction du nombre p de leurs arêtes est H_p, si, en vertu de ce que nous avons dit, nous considérons comme distincts, deux arbres égaux par retournement du plan.

Jordan (*loc. cit.*, p. 188) donne une expression pour calculer le nombre d'arbres *dans l'espace* ; nous pensons que sa formule est erronée à moins, comme me l'a indiqué M. Libois, qu'on ne modifie le sens qu'il donne à une des lettres.

UNE EXCURSION DANS LE PAYS DES NOMBRES FIGURÉS

par M. KRAITCHIK,

Agrégé à l'Université de Bruxelles

Dans un travail récent *La mathématique des jeux ou récréations mathématiques*, nous étions amenés à la généralisation suivante des nombres figurés :

1° Considérons la progression arithmétique, dont le premier terme est 1 et la raison i, c'est-à-dire la progression $1, 1+i, 1+2i, 1+3i, \ldots\ldots$

Les termes de cette progression forment *les nombres figurés linéaires* ou *de la première dimension*.

Voici les premiers termes de ces progressions :

i	Nombres figurés linéaires						Terme général
1	1	2	3	4	5	. . .	n
2	1	3	5	7	9	. . .	$2n-1$
3	1	4	7	10	13	. . .	$3n-2$
4	1	5	9	13	17	. . .	$4n-3$
5	1	6	11	16	21	. . .	$5n-4$
i	1	$1+i$	$1+2i$	$1+3i$	$1+4i$	. . .	$in-(n-1)$

2° Considérons ensuite les sommes successives des termes de ces progressions. On formera ainsi les *nombres figurés plans* ou *de la deuxième dimension*, dont les premiers termes sont donnés dans la table qui suit :

i	Nombres figurés plans							Terme général
1	Triangulaires	1	3	6	10	15	. .	$\frac{1}{2}n(n+1)$
2	Carrés	1	4	9	16	25	. .	n^2
3	Pentagonaux	1	5	12	22	35	. .	$\frac{1}{2}n(3n-1)$
4	Hexagonaux	1	6	15	28	45	. .	$n(2n-1)$
i		1	$2+i$	$3+3i$	$4+6i$	$5+10i$	. .	$\frac{1}{2}n[in-(i-2)]$

3° Considérons dans le même ordre d'idées, les sommes successives des termes des séries envisagées au 2°. On formera *les nombres figurés solides (pyramidaux)* ou *de la troisième dimension*.

La table qui suit donne les premiers termes des séries formées ainsi.

i	Nombres figurés de la troisième dimension						
1	1	4	10	20	35	.....	$\frac{1}{6} n (n+1)(n+8)$
2	1	5	14	30	35	.....	$\frac{1}{6} n (n+1)(2n+1)$
3	1	6	18	40	75	.....	$\frac{1}{2} n^2 (n+1)$
4	1	7	22	50	95	.....	$\frac{1}{6} n (n+1)(4n-1)$
i	1	$3+i$	$6+4i$	$10+10i$	$15+20i$	....	$\frac{1}{6} n (n+1)[in-(i-3)]$

4° On pénètre aisément dans la quatrième dimension, en considérant les sommes successives des termes des nombres figurés solides. On formera ainsi les termes des *nombres figurés de la quatrième dimension*.

Voici les premiers termes de ces séries :

i	Nombres figurés de la quatrième dimension						Terme général
1	1	5	15	35	70	..	$\frac{1}{24} n (n+1)(n+2)(n+3)$
2	1	6	20	50	105	..	$\frac{1}{12} n (n+1)^2 (n+2)$
3	1	7	25	65	140	..	$\frac{1}{24} n (n+1)(n+2)(3n+1)$
4	1	8	30	80	175	..	$\frac{1}{6} n^2 (n+1)(n+2)$
i	1	$4+i$	$10+5i$	$20+15i$	$35+35i$	..	$\frac{1}{24} n(n+1)(n+2)[in-(i-4)]$

5° Les résultats que nous venons d'examiner se généralisent facilement.

On appellera *nombre figuré* de la dimension d et de la progression i, le nombre

$$N_{d,i} = \frac{1}{d\,!} \frac{(n+d-2)\,!}{(n-1)\,!} \Big\{ in - (i-d) \Big\} \;!$$

La somme de n premiers nombres figurés de la dimension d donne le nombre figuré de la dimension $d+1$ et on a :

$$N_{d+1,\,i} = \sum_{1}^{n} N_{d,\,i}$$

6° La formule générale des nombres figurés se simplifie dans certains cas particuliers que nous allons examiner :

a) Pour $i=1$ on aura

$$N_d = \frac{1}{d\,!} \frac{(n+d-1)\,!}{(n-1)\,!} = C^{d}_{n+d-1}$$

C'est précisément le nombre des combinaisons (sans répétition) de $n+d-1$ éléments pris d à d.

b) Pour $d=i$, on aura

$$N_{d,\,i} = \frac{1}{(d-1)\,!} \frac{(n+d-2)\,!}{(n-1)\,!}\, n$$

On trouve ainsi :

$d = i = 1$	$N_{d,\,i} = n$
2	n^2
3	$\frac{1}{2} n^2 (n+1)$
4	$\frac{1}{6} n^2 (n+1)(n+2)$
5	$\frac{1}{24} n^2 (n+1)(n+2)(n+3)$

A partir du deuxième terme, $N_{d,i}$ et divisible par n^2.

———

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES NOMOGRAMMES

par M. ALLIAUME,

Professeur à l'Université de Louvain

RÉSUMÉ

1. — Indépendamment d'une théorie morphologique générale dont le symbolisme est principalement descriptif, on doit à M. D'OCAGNE une conception très générale de la notion de nomogramme par la considération d'un plan fixe et d'un ou de plusieurs transparents mobiles (1).

Le plan fixe porte quatre réseaux, dont soient (t_1, t_2), (t_4, t_5), (t_7, t_8), (t_{10}, t_{11}) les couples de paramètres. Sur le transparent sont tracées quatre familles de lignes à un paramètre : t_3, t_6, t_9, t_{12}. L'ensemble du plan fixe et du transparent constitue le nomogramme d'une certaine équation entre douze variables.

En effet, dans l'hypothèse où des valeurs numériques $\mathbf{t}_1$, $\mathbf{t}_2$,...$\mathbf{t}_{11}$ seraient données pour les paramètres t_1, t_2, ... t_{11}, que le transparent soit placé sur le plan fixe de façon que la ligne cotée $\mathbf{t}_{3+i}$ $(i=1, 2, 3)$ de la famille t_{3+i} du transparent passe par le point $(\mathbf{t}_{4+i}, \mathbf{t}_{5+i})$ du réseau en (t_{4+i}, t_{5+i}) du plan fixe. La valeur numérique correspondante $\mathbf{t}_{12}$ de la variable t_{12} est la cote de la famille en t_{12} du transparent qui, dans la position actuelle de celui-ci, passe par le point $(\mathbf{t}_{10}, \mathbf{t}_{11})$ du réseau en (t_{10}, t_{11}) du plan fixe.

2. — A partir de la description analytique de ce nomogramme, on établit l'équation générale à douze variables qu'il permet de résoudre par rapport à l'une de celles-ci.

3. — M. D'Ocagne prévoit la généralisation dans laquelle le nomogramme consisterait dans un plan fixe et un nombre quelconque M de transparents superposés (2) ; un pareil nomogramme correspond à une équation entre $3(3M+1)$ variables.

4. — Le cas $M=1$ d'un seul transparent suffit à représenter la plupart des nomogrammes. Chacune de ces particularisations se fait par réduction du nombre des variables : si le paramètre d'une famille de lignes demeure

(1) M. D'OCAGNE, *Cours de Géométrie* (de l'Ecole polytechnique), édit. en un vol., Paris (1930), 405, 406.

(2) *Ibidem*, 406.

constant, cette famille se réduit à un index ; si l'un des deux paramètres d'un réseau demeure constant, ce réseau se réduit à une échelle.

5. — Si chacune des familles du transparent se réduit à un index, on obtient le nomogramme d'une équation entre huit variables, et on obtient celui d'une équation à quatre variables si, de plus, chacun des réseaux du plan fixe se réduit à une échelle : forme de l'équation générale dans ces deux cas particuliers.

Les quatre familles du transparent se réduisent à des index, dont l'un est rectiligne, et, seul, le réseau du support correspondant à celui-ci se réduit à une échelle. Cette échelle appartient à une droite et son paramètre n'est utilisé que pour la valeur qu'il prend au point à l'infini. On retrouve ainsi les nomogrammes à six paramètres (au plus) et à transparent orienté de M. Margoulis, et, par conséquent, dans un cas plus particulier, l'abaque hexagonal de M. Lallemand.

6. — Les réseaux, plutôt que de se trouver tous les quatre sur le plan fixe, pourraient évidemment se trouver les uns sur le plan fixe, les autres sur le transparent, chacun de ceux-ci étant alors remplacé sur le plan fixe par la famille correspondante de lignes considérée jusqu'ici sur le transparent. En particulier, si cette inversion se faisait dans chacun des quatre groupes d'éléments cotés constitués d'un réseau et d'une famille de lignes à un paramètre, il n'y aurait aucun autre changement que celui qui équivaudrait à l'interversion des mots plan fixe et transparent. En vue de la généralisation qui forme la partie principale de cette étude, on fait néanmoins le traitement analytique de cette disposition.

7. — L'examen de cas particuliers, encore très généraux, a montré que, dans un grand nombre de cas, le transparent ne porte que des index et un des éléments cotés. Aussi, à plus forte raison, la généralisation qui consiste dans une superposition de transparents n'est-elle guère qu'une conception théorique. On va exposer une généralisation dans laquelle les transparents sont considérés indépendamment les uns des autres, et chacun en relation immédiate avec le plan fixe qui sera leur support commun.

8. — Le nomogramme qu'on se propose de définir se compose d'un plan fixe, ou support, et de transparents ; un index associé à l'ensemble des transparents complète sa définition.

Le support S du nomogramme renferme des groupes I, II, III,...N d'éléments cotés, et des transparents correspondants T_1, T_2, T_3,... T_N dont chacun porte un groupe de familles d'éléments cotés.

Chaque groupe d'éléments cotés du support est constitué de trois familles de lignes à un paramètre. L'ensemble des éléments cotés de chaque transparent consiste en quatre réseaux, chacun à deux paramètres. Trois de ces réseaux ont pour objet la localisation du transparent sur le support, et soit, dans cette position du transparent, $P(P_1, P_2, \dots P_N)$ un point du quatrième réseau défini par ses coordonnées curvilignes au sein de celui-ci.

L'index est une ligne appartenant à une famille de lignes à (N-1) paramètres. Le nomogramme qui vient d'être construit se prête à la résolution, par rapport à l'une d'elles, de l'équation à 11 N variables qui exprime que les N points P appartiennent à un même index.

9. — A partir de la description analytique de ce nomogramme, on établit l'équation générale à 11 N variables qu'il permet de résoudre par rapport à l'une de celles-ci.

10. — L'extrême généralité de ce nomogramme va être restreinte par des considérations supplémentaires définissant un cas particulier qui englobera encore l'immense majorité des nomogrammes construits.

1° Sur chaque transparent, les deux premiers réseaux de localisation sont confondus, ce qui équivaut à ce que support et transparent portent chacun un réseau se correspondant point par point, deux points correspondants déterminés devant venir en coïncidence.

2° Le troisième réseau de localisation de chaque transparent se réduit à une échelle, tandis que

3° La famille correspondante de lignes du support se réduit à un index, ce qui équivaut à ce que le transparent, ayant déjà un point fixe, prend une orientation déterminée par la valeur numérique donnée à telle variable.

Les onze paramètres primitifs ne comportent plus que sept variables. Comme dans le cas général, les points P, pris dans les quatrièmes réseaux des transparents, sont astreints à appartenir à un même index à (N-1) paramètres.

11. — A partir de la description analytique de ces éléments géométriques, on établit l'équation générale à 7 N variables que ce nomogramme permet de résoudre par rapport à l'une de celles-ci.

12-13. — Les cas particuliers vont être étudiés, d'une part, en rendant d'abord constants les paramètres de localisation des transparents, ce qui définira la classe des nomogrammes dépourvus de transparents porteurs d'éléments cotés, d'autre part suivant les valeurs croissantes de N, à partir de N=2.

14. — Dans cette classe, et pour N=2, les variables sont au nombre de quatre, trois ou deux, l'index appartenant à une famille à un paramètre, comme une droite parmi des droites concourantes ou parallèles. On y rencontre l'abaque à entrecroisement.

15. — Pour N=3, on envisage un index rectiligne, ce qui reconstitue le nomogramme à points alignés à six, cinq, quatre ou trois variables. Si l'index est formé de l'ensemble de trois droites solidaires et dont l'une est constamment parallèle à une direction donnée, on obtient les nomogrammes à transparent orienté et, en particulier, l'abaque hexagonal. On considère aussi l'index constitué de deux parallèles dont la distance est fixe, et l'introduction d'un index renfermant un point isolé, comme l'ensemble

d'une circonférence de rayon quelconque et de son centre, fait retrouver les nomogrammes à segments égaux de M. Gercevanoff. Dans chacun de ces cas, on écrit l'équation générale correspondante.

16. — En vue des applications pour lesquelles N=4, on distingue des index à trois paramètres, indéformables et déformables. L'index indéformable à trois paramètres est superposable à toute autre ligne de la famille à laquelle il appartient : il peut se tracer sur un transparent, les trois paramètres de l'index correspondant aux trois degrés de liberté du plan matérialisé par ce transparent. Quant à l'index déformable à trois paramètres, il peut être réalisé par une famille de lignes à un paramètre tracées sur un transparent.

On envisage, en cherchant l'équation correspondante entre huit variables (pouvant se réduire à quatre) un index formé de deux parallèles dont la distance est quelconque, de deux droites perpendiculaires, de deux droites astreintes à se couper sur une ligne donnée : ceci reconstitue le nomogramme à double alignement. Enfin, un index à points isolés comme l'ensemble de deux circonférences égales et de leurs centres, étend à un plus grand nombre de variables les nomogrammes à segments égaux de M. Gercevanoff.

17. — Quant aux nomogrammes à transparents mobiles portant des éléments cotés, leurs applications les plus immédiates sont réalisées dans le nomogramme à translation et dans le nomogramme à rotation. Dans l'un comme dans l'autre, N=2 et le nomogramme comporte un seul transparent porteur d'éléments cotés.

18. — Dans le nomogramme à translation, la rotation du transparent est empêchée par une condition analogue à celle qui a été introduite au n° 5 dans la définition des nomogrammes à transparent orienté. Les variables sont au nombre de huit (au plus). L'équation générale correspondante est établie :

1° Par un index rectiligne ayant un point obligé ;

2° Par un index rectiligne ayant une direction donnée.

Dans cette dernière hypothèse, la réduction des quatre réseaux à quatre échelles définit un nomogramme à tiroirs dont la règle à calcul est un cas particulier.

19. — Dans le nomogramme à rotation, la translation du transparent est empêchée par la fixation de l'un de ses points, tandis que l'orientation est définie par la valeur attribuée à tel paramètre ; il ne reste que cinq variables au plus : équation générale de ce nomogramme.

20. — Pour N=3, on cherche l'équation générale d'un nomogramme à trois transparents orientés et à points alignés. Chacun des trois transparents ne peut avoir qu'un mouvement de translation, et l'index est rectiligne. Le nombre des variables est dix-huit et peut se réduire à neuf.

21. — Dans la théorie tout à fait générale, à chacun des N groupes d'éléments cotés du support, et au transparent associé à ce groupe, correspondait, par la valeur numérique des paramètres de localisation du transparent, un réseau au sein duquel on considérait un point P. L'équation propre au nomogramme exprimait la condition pour que ces N points appartinsent à une même ligne prise dans une famille à $(N-1)$ paramètres.

Si ces N points doivent appartenir à une même ligne prise dans une famille à $(N-k)$ paramètres $(1 \leqslant k < N)$, les conditions simples correspondantes sont au nombre de k et on construit un nomogramme pour la résolution d'un système de k équations à k inconnues.

On estime inutile de reprendre cette idée algébriquement, en toute généralité, et on a fait deux applications probablement assez étendues pour comprendre la plupart des cas particuliers qu'on pourrait rencontrer. Dans chacune de ces applications, le nomogramme est dépourvu de transparents porteurs d'éléments cotés.

22-23. — Dans l'une, où $N=4$, de ces applications, deux des quatre réseaux se réduisent à des échelles ; il reste six variables, et les deux points P du réseau doivent se trouver en ligne droite avec les points P des échelles. Dans l'autre, où $N=5$, il reste dix variables, et l'index à trois paramètres se compose de deux droites astreintes à se couper au point P de l'un des cinq réseaux [3].

Sauf la complication des notations et la longueur des calculs, c'est sans difficulté que cette théorie des nomogrammes plans s'étendrait aux nomogrammes à trois dimensions.

[3] M. Alliaume, *Sur la résolution nomographique des systèmes d'équations* (*Comptes rendus de l'Acad. Sc. Paris*, **176** [1923], 232); — *Application de la Nomographie aux calculs d'étalonnage des instruments de mesures* (*Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, **42** [1923], 241 de la première partie).

L'ÉQUATION DE FREDHOLM DANS L'ÉTUDE DES VIBRATIONS AMORTIES

par F.-H. VAN DEN DUNGEN,

Professeur à l'Université de Bruxelles

---

1. *Rappel du cas des vibrations non amorties.* — Soit y_P, la déformation en un point P, d'un corps élastique sous l'effet des forces $f_Q\, m_Q$ appliquées aux points Q de masse m_Q du corps. Si α_{PQ} est le coefficient d'influence statique du corps dans les conditions aux limites données, on a

$$y_P = S\, \alpha_{PQ}\, f_Q\, m_Q\,, \tag{1}$$

où la sommation S est étendue à toutes les masses des points Q ; cette sommation est une somme algébrique, si les masses sont discrètes, au contraire si les masses sont réparties, cette sommation représente une intégrale de ligne, de surface, ou de volume, suivant les cas.

Supposons que les forces par unité de masse f_Q soient uniquement dues à l'effet de l'inertie, nous aurons

$$f_Q = -\frac{d^2 y_Q}{dt^2}\,, \tag{2}$$

et dans le cas où le mouvement est harmonique, de pulsation ω, l'équation (1) donne

$$y_P = \omega^2\, S\, \alpha_{PQ}\, y_Q\, m_Q\,, \tag{3}$$

équation intégrale de Fredholm, dont nous désignerons par

$$\omega_1^2,\ \omega_2^2,\ \ldots,\ \omega_h^2,\ \ldots$$

les nombres caractéristiques (carrés des pulsations propres ou partiels du corps) auxquels correspondent des fonctions, solutions de l'équation (3),

$$\varphi_{1P}\ ,\ \varphi_{2P}\,,\ \ldots\,,\ \varphi_{hP}\,,\ \ldots$$

que nous supposerons *normées*. (Rappelons qu'elles sont orthogonales.)

2. *Un cas élémentaire de vibrations amorties.* — Plaçons-nous dans le cas où des forces de viscosité s'ajoutent aux forces d'inertie et supposons que l'on ait

$$f_Q = -\frac{d^2 y_Q}{dt^2} - 2\,b\,\frac{dy_Q}{dt}\,, \tag{4}$$

b étant un coefficient *constant positif*. Admettons que la solution soit de la forme

$$y_P = \Sigma\, \Phi_h(t)\, \varphi_{hP}\,, \tag{5}$$

on doit avoir

$$\frac{d^2 \Phi_h}{dt^2} + 2\,b\,\frac{d\,\Phi_h}{dt} + \omega_h^2\, \Phi_h = 0\,, \tag{6}$$

et dès lors

$$\Phi_h(t) = e^{-bt}\left[A_h \cos\sqrt{\omega_h^2 - b^2}\,t + \frac{B_h}{\sqrt{\omega_h^2 - b^2}} \sin\sqrt{\omega_h^2 - b^2}\,t\right] \tag{7}$$

où A_h et B_h sont des constantes. Dans le cas où l'on a

$$\omega_h = b$$

il faut remplacer l'expression précédente par sa vraie valeur.

S'il faut étudier les vibrations propres satisfaisant aux conditions initiales

$$y_P = F(P) \quad \text{et} \quad \frac{dy_P}{dt} = G(P) \quad \text{pour } t = 0, \tag{8}$$

on obtient

$$A_h = S\, \varphi_{hP}\, F(P)\, m_P \quad , \quad B_h = S\, \varphi_{hP}\, [G(P) + b\, F(P)]\, m_P\,, \tag{9}$$

dont la dernière seule dépend du coefficient b.

S'il s'agit de vibrations forcées dues à des forces

$$F_Q\, m_Q \sin \omega t$$

il faut résoudre l'équation

$$y_P = S\, \alpha_{PQ}\left(-\frac{d^2 y_Q}{dt^2} - 2\,b\,\frac{dy_Q}{dt} + F_Q \sin \omega\, t\right) m_Q\,, \tag{10}$$

dont une solution particulière est donnée par

$$y_P = \Sigma\, (C_h \cos \omega t + D_h \sin \omega t)\, \varphi_{hP},$$

où l'on a posé

$$C_h = \frac{-2\,b\,\omega}{(\omega_h^2 - \omega^2)^2 + 4\,\omega^2\, b^2}\, S\, \varphi_{hQ}\, F_Q\, m_Q$$

$$D_h = \frac{\omega_h^2 - \omega^2}{(\omega_h^2 - \omega^2)^2 + 4\,\omega^2\, b^2}\, S\, \varphi_{hQ}\, F_Q\, m_Q\,. \tag{11}$$

Nous n'étudierons pas ici la convergence des développements basés sur les formules précédentes, attendu qu'ils apparaissent comme cas particuliers des considérations suivantes.

3. *Cas général des forces de viscosité.* — Si le coefficient b varie avec le point Q, le problème est plus long à résoudre ; en posant

$$p_Q = 2\, b\, m_Q \ , \tag{12}$$

l'équation du mouvement propre devient

$$y_P = \mathrm{S}\, \alpha_{PQ} \left(- m_Q \frac{d^2 y_Q}{dt^2} - p_Q \frac{d y_Q}{dt} \right) ; \tag{13}$$

cherchons une solution qui soit le produit d'une fonction du point P par une fonction exponentielle du temps

$$y_P = Y_P\, e^{\rho t} \tag{14}$$

dès lors

$$Y_P = \mathrm{S}\, \alpha_{PQ} (- m_Q \rho^2 - p_Q \rho)\, Y_Q \tag{15}$$

Traitons cette équation comme une équation de Fredholm dont le paramètre est égal à l'unité et dont l'élément d'intégration soit

$$-(m_Q \rho^2 + p_Q \rho)$$

La déterminante de Fredholm est

$$\begin{aligned} D(1) = 1 + \sum_n \frac{(-1)^n}{n\,!} \times \\ \mathrm{S} \ldots \mathrm{S}\, [(\alpha_{11} \ldots \alpha_{nn})]\, (-1)^n\, (m_1 \rho^2 + p_1 \rho) \ldots (m_n \rho^2 + p_n \rho) \, , \end{aligned} \tag{16}$$

dont le $(n+1)^e$ terme est un polynôme en ρ de la puissance n à la puissance $2n$. En ordonnant les termes de (16) d'après les puissances croissantes de ρ, nous obtenons

$$\begin{aligned} \mathcal{D}(\rho) = D(1) = 1 + \sum_n \rho^n \sum_{K=0}^{\nu} \frac{1}{K\,!\,(n-K)\,!} \times \\ \mathrm{S} \ldots \mathrm{S}\, [(\alpha_{11} \ldots \alpha_{n-K,\, n-K})]\, m_1 \ldots m_k \cdot p_{K+1} \ldots p_{n-K} \end{aligned} \tag{17}$$

où, si n est pair, $2\nu = n$
impair, $2\nu = n - 1$

Il est aisé de voir que si les fonctions α, m, p, sont bornées, une série telle que (17) est convergente : il suffit d'appliquer, comme pour la déterminante, la formule de M. Hadamard donnant la valeur maximum d'un déterminant.

On peut de la même façon obtenir des développements convergents des mineurs de Fredholm et écrire la résolvante de l'équation sous la forme

$$\Gamma(P, Q \mid \rho) = \frac{\mathcal{D}\binom{P}{Q} \mid \rho)}{\mathcal{D}(\rho)} \tag{18}$$

du quotient de deux séries entières en ρ.

Les *mouvements propres* sont dès lors donnés par (14) lorsque ρ est

racine de (17). Il est aisé de voir que les racines ϱ ne peuvent avoir leur partie réelle positive. En effet, en multipliant les deux membres de (13) par

$$\frac{dy_P}{dt} m_P$$

et en intégrant à nouveau à tout le corps, on a

$$(U+V)_t - (U+V)_0 = -\int_0^t W\,dt\,, \tag{19}$$

où l'on a posé

$$U = \frac{1}{2} S\, y_P^2\, m_P\ ,$$

$$V = \frac{1}{2} S\, S\, \alpha_{PQ} \frac{dy_P}{dt} \frac{dy_Q}{dt} m_P\, m_Q\ , \tag{20}$$

$$W = S\, S\, \alpha_{PQ} \frac{dy_P}{dt} \frac{dy_Q}{dt} m_P\, p_Q$$

or la fonction W est essentiellement positive : les fonctions m et p sont positives en vertu de leur signification physique et les déterminants principaux des coefficients α_{PQ}

$$[(\alpha_{11} \ldots \alpha_{nn})]$$

sont également positifs, parce que l'énergie interne de déformation doit l'être ; dès lors les conditions suffisantes de M. Mercer sont satisfaites et le noyau de l'équation intégrale est dit positif, ce qui exige que W le soit aussi.

Il est dès lors impossible que certaines fonctions y puissent croître au delà de toute limite ; pour la même raison, il ne peut être question de vibrations harmoniques et la partie réelle d'une racine ϱ *doit être nécessairement négative.*

Passons à l'étude des *vibrations forcées.* Si en un seul point Q agit une force extérieure

$$F_Q\, m_Q\, e^{i\omega t} \tag{21}$$

une solution particulière de l'équation du mouvement est donnée par

$$y_P = \Gamma\,(P, Q \mid i\omega)\, F_Q\, m_Q\, e^{i\omega t} \tag{22}$$

où l'on a remplacé dans la résolvante ϱ par $i\omega$. On peut grâce à la formule précédente étudier l'effet d'une force harmonique de pulsation ω, la partie réelle de (21), par exemple ; la solution est alors la partie réelle de (22). On voit qu'en général, il n'y a pas synchronisme entre la force et la déformation.

Remarques. — Nous comptons développer ailleurs les résultats de la précédente étude. La formule (22) semble d'un grand intérêt ; appliquée aux phénomènes de vibrations électriques, elle permet de retrouver certaines formules de Heaviside que cet auteur avait pu écrire grâce à son calcul symbolique. Remarquons, enfin, que le cas particulier du n° 2, suivant lequel l'amortissement considéré dans ce numéro *n'affecte pas les fonctions caractéristiques*, a déjà été établi par divers auteurs dans l'hypothèse d'une masse constante uniformément répartie le long d'une corde ; on voit que le cas est beaucoup plus général.

Une remarquable étude des vibrations amorties basée sur l'emploi des équations différentielles du mouvement est due à O. Faber (*Arch. Math. U. Phys.* T. 22, p. 289, 1914). Nous n'en avons eu connaissance qu'au cours de la correction des épreuves de la présente note.

SUR LE THÉORÈME DES FONCTIONS IMPLICITES

par R.-H.-J. GERMAY,

Professeur à l'Université de Liége

PRÉLIMINAIRES.

§ 1. — A. FONCTIONS IMPLICITES. — *Considérons l'équation*

$$F(x_1, x_2, \ldots\ldots, x_n, z) = 0, \tag{1}$$

et supposons la fonction F *holomorphe au point* $x_1 = x_2 = \ldots = x_n = z = 0$ *et dans son domaine. Si l'on a*

$$(F)_0 = 0, \quad \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)_0 \neq 0, \tag{2}$$

l'équation (1) *définit dans le domaine de* $x_1 = x_2 = \ldots = x_n = 0$ *une et une seule fonction holomorphe* $\xi(x_1, x_2, \ldots x_n)$ *se réduisant à zéro pour*

$$x_1 = \ldots = x_n = 0.$$

L'équation (1) peut s'écrire sous la forme classique

$$F(x_1, x_2, \ldots, x_n, z) = [z - \xi(x_1, \ldots, x_n)]\Phi(x_1, \ldots x_n, z) = 0. \tag{3}$$

due à Weierstrass et qui met en évidence la racine $z = \xi$, la fonction Φ ne s'annulant pas pour $x_1 = \ldots = x_n = z = 0$,

Cette solution ξ peut se calculer par approximations successives d'après la méthode bien connue de M. Goursat.

Le théorème se généralise pour un système d'équations

$$F_j(x_1, \ldots x_n; z_1, \ldots, z_p) = 0, \quad (j = 1, \ldots p), \tag{4}$$

dont les premiers membres sont holomorphes et donnent lieu à

$$(F_j)_0 = 0 \quad , \quad \left[\frac{D(F_1, \ldots\ldots\ldots, F_p)}{D(z_1, \ldots\ldots\ldots, z_p)}\right]_0 \neq 0. \tag{5}$$

B. LEMME DE WEIERSTRASS. — *Si l'on a*

$$(F)_0 = 0, \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)_0 = 0, \ldots\ldots, \left(\frac{\partial^{p-1} F}{\partial z^{p-1}}\right)_0 = 0, \left(\frac{\partial^p F}{\partial z^p}\right)_0 \neq 0 \tag{6}$$

l'équation (1) *s'écrit dans le domaine de zéro*

$$F(x_1, \ldots, x_n, z) = [z^p - 6_1(x_1, \ldots, x_n) z^{p-1} \ldots - 6_p(x_1, \ldots, x_n)] \quad (7)$$
$$K(x_1, \ldots, x_n z) = 0 \ .$$

Les 6_j et K sont holomorphes et donnent lieu aux relations

$$(6_j)_0 = 0 \ , \quad (K)_0 \neq 0 \ , \quad (j = 1, \ldots p). \quad (8)$$

La forme (7) du premier membre de (1) dans le cas des hypothèses (6) met en évidence l'existence de p racines z au voisinage du point

$$x_1 = \ldots = x_n = 0.$$

En dehors des démonstrations habituelles de ce lemme, citons-en deux particulièrement remarquables dues à M. Goursat et à V. Leclercq [1].

C. Théorème de V. Leclercq. — *Soient*

$$F_j(x_1, \ldots, x_r; y_1, \ldots, y_n) = 0, \quad (j = 1, 2, \ldots n), \quad (9)$$

n *équations dont les premiers membres sont des fonctions des* n + r *variables* $x_1, \ldots, x_r, y_1, \ldots, y_n$ *s'annulant au point* $x_1 = \ldots = x_r = y_1 = \ldots = y_n = 0$, *holomorphes en ce point et dans son domaine. Si ces fonctions ont pour* $x_1 = \ldots = x_r = 0$ *un zéro d'ordre* p *en* $y_1 = \ldots = y_n = 0$, *les équations* (9) *s'écrivent identiquement dans le domaine de zéro sous la forme*

$$F_j = K_{j1} H_1 + \ldots + K_{jn} H_n = 0, \quad (j = 1, 2, \ldots n), \quad (10)$$

les K *étant des fonctions holomorphes de* $x_1, \ldots, x_r, y_1, \ldots y_n$ *dont le déterminant est différent de zéro au point zéro et les* H *des polynômes entiers en* $y_1, \ldots, y_n$ *de degrés au plus égaux à* p *et à coefficients holomorphes en* $x_1, \ldots, x_r$.

Ce théorème généralise le lemme de Weierstrass pour un système d'équations dans les conditions précisées par l'énoncé.

§ 2. — On peut se proposer de calculer par approximations successives non pas les racines de l'équation (1) dans le cas des hypothèses (6) ou celles des équations (9) quand leurs premiers membres ont pour $x_1 = \ldots = x_r = 0$ un zéro d'ordre p en $y_1 = \ldots = y_n = 0$, mais plutôt les coefficients 6 du lemme de Weierstrass et ceux des polynômes H du théorème de V. Leclercq [2]. Nous avons antérieurement fait connaître sur ce sujet une note fort succincte [3] dont le développement, non publié jusqu'à ce jour,

[1] E. Goursat, *Bull. de la Soc. Math. de France*, **36**, 209 (1908).
V. Leclercq, *Mém. de la Soc. Roy. des Sc. de Liége*, **III**, **11**, 2e partie.

[2] Cette question nous a été autrefois indiquée par M. J. Deruyts, professeur à l'Université de Liége.

[3] R. H. J. Germay, *Application de la méthode des approximations successives à un lemme de Weierstrass et à sa généralisation.* (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **178**, 2046 (1924). — Pour un cas particulier, voir notre note : *Sur la formule de Lagrange et sa généralisation par M. T. J. Stieltjes* (*Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique*, Classe des Sciences, V, **14**, 372-390 [1928]).

trouve sa place ici. Le calcul par approximations successives des coefficients en question repose d'une part sur les résultats établis par V. Leclercq [1] et d'autre part sur le théorème suivant antérieurement démontré [2].

Théorème. — *Soient*

$$F_{j1}(x_1, \ldots, x_n; z_1, \ldots, z_q), \quad \mathbf{F_{j2}}, \ldots, F_{jk} \ldots, \qquad (j=1,2,\ldots,q), \tag{11}$$

q *suites uniformément convergentes de fonctions analytiques dans le domaine du point* $x_1^o, \ldots, x_n^o, z_1^o, \ldots z_q^o$ *et soient*

$$F_{j,\infty}(x_1, \ldots, x_n; z_1, \ldots, z_q), \qquad (j=1, \ldots q),$$

leurs limites respectives pour $k \to \infty$. *Supposons que l'on ait*

$$F_{jk}(x_1^o, \ldots, x_n^o; z_1^o, \ldots, z_q^o) = 0, \quad (j=1, \ldots, q; k=1,2,\ldots). \tag{12}$$

Soient

$$\frac{\partial F_{j1}}{\partial z_i}, \frac{\partial F_{j2}}{\partial z_i}, \ldots \frac{F_{jk}}{\partial z_i}, \quad (j=1, \ldots q), \quad (i=1, \ldots q), \tag{13}$$

les q^2 *suites uniformément convergentes des dérivées des F par rapport aux z et posons*

$$\Delta_K^o = \left[\frac{D(F_{1K}, F_{2K}, \ldots\ldots, F_{qK})}{D(z_1, z_2, \ldots\ldots\ldots, z_q)}\right]_{\substack{x_i = x_i^o \\ z_j = z_j^o}} \tag{14}$$

$$\Delta_\infty^o = \left[\frac{D(F_{1\infty}, F_{2\infty}, \ldots, F_{q\infty})}{D(z_1, z_2, \ldots\ldots\ldots, z_q)}\right]_{\substack{x_i = x_i^o \\ z_j = z_j^o}}. \tag{15}$$

Supposons que

$$\Delta_K^o \neq 0, \quad \Delta_\infty^o \neq 0. \tag{16}$$

On peut dans un certain domaine suffisamment petit de centre $x_1^o, \ldots, x_n^o$ *définir de proche en proche des fonctions analytiques de* $x_1, \ldots, x_n$

$$z_{jo}, z_{j1}, \ldots, z_{jk}, \ldots, \qquad (j=1, \ldots, q), \tag{17}$$

formant q *suites uniformément convergentes dont les limites pour* $k \to \infty$ *sont les solutions* $z_{j\infty}$ *des équations*

$$F_{j\infty}(x_1, \ldots, x_n; z_1, \ldots, z_q) = 0, \quad (j=1, \ldots q), \tag{18}$$

fonctions analytiques de $x_1, \ldots, x_n$ *se réduisant respectivement aux* z_j^o *pour*

[1] V. Leclercq, *Sur les fonctions implicites* (*Mém. de la Soc. Roy. des Sciences de Liége*, III, **11**, 2e partie [1922]).

[2] R. H. J. Germay, *Intégration par approximations successives des équations aux dérivées partielles* (*Mém. de la Soc. Roy. des Sciences de Liége*, III, **12**, § 5, th. IV, 13-16 [1924]).

$x_1 = x_1^\circ$, ..., $x_n = x_n^\circ$. *Les dérivées d'ordre quelconque des termes de la suite* (17) *forment des suites uniformément convergentes dont les limites pour* $k \to \infty$ *sont les dérivées correspondantes des* $z_{j,\infty}$.

Les approximations z_{jk} *se définissent de proche en proche par les formules récurrentes*

$$z_{j,k} = z_{j,k-1}$$
$$-\frac{1}{\Delta_k^\circ}\begin{vmatrix} \left(\frac{\partial F_{1,k}}{\partial z_1}\right)_o \cdots \left(\frac{\partial F_{1,k}}{\partial z_{j-1}}\right)_o [F_{1,k}]_{z_i = z_{i,k-1}} \left(\frac{\partial F_{1,k}}{\partial z_{j+1}}\right)_o \cdots \left(\frac{\partial F_{1,k}}{\partial z_q}\right)_o \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \left(\frac{\partial F_{q,k}}{\partial z_1}\right)_o \cdots \left(\frac{\partial F_{q,k}}{\partial z_{j-1}}\right)_o [F_{q,k}]_{z_i = z_{i,k-1}} \left(\frac{\partial F_{q,k}}{\partial z_{j+1}}\right)_o \cdots \left(\frac{\partial F_{q,k}}{\partial z_q}\right)_o \end{vmatrix} \quad (19)$$

$$(j = 1, 2, \dots q) \quad ,$$

moyennant les valeurs initiales $z_{j,o} = z_{j,c}$.

Section I.

§ 3. — *Calcul des coefficients* б *du polynome de Weierstraas.*

Reprenons l'équation (1) et les hypothèses (6). D'après la démonstration de V. Leclercq, les coefficients б du polynome intervenant dans la formule (7) sont des fonctions holomorphes implicites définies par les équations

$$\Phi_j \quad (x_1, \dots, x_n \,;\, б_1, \dots, б_p) = 0 \quad , \qquad (j = 1, 2, \dots, p), \tag{20}$$

qui s'obtiennent de la manière suivante. Soit

$$F(x_1, \dots, x_n, z) = \sum_{k=o}^{k=\infty} A_k(x_1, \dots, x_n)\, z^k \quad , \tag{21}$$

le développement en série, dans le domaine de zéro, de la fonction holomorphe F. Le coefficient $A_k(x_1, \dots, x_n)$ a pour valeur

$$A_k(x_1, \dots, x_n) = \frac{1}{k!}\left(\frac{\partial^k F}{\partial z^k}\right)_{z=0} \tag{22}$$

Considérons les fonctions α_{kj} des $б_1$, ..., $б_p$ définies de proche en proche par les formules récurrentes

$$\left.\begin{array}{l} \alpha_{s+1,1} = \alpha_{s,1}\, б_1 + \alpha_{s,2} \quad , \dots\dots\dots , \alpha_{s+1,p-1} = \alpha_{s,1}\, б_{p-1} + \alpha_{s,p} \quad , \\ \alpha_{s+1,p} = \alpha_{s,1}\, б_p \quad , \end{array}\right\} \tag{23}$$

moyennant les valeurs initiales

$$\alpha_{o,1} = 0\ ,\ \ldots\ldots\ ,\quad \alpha_{o,p-1} = 0\ ,\quad \alpha_{o,p} = 1\ ,$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\alpha_{p-1,1} = 1\ ,\quad \alpha_{p-1,2} = 0\ ,\ \ldots\ldots\ ,\ \alpha_{p-1,p} = 0\ . \tag{24}$$

Les fonctions Φ_j des équations (20) sont les séries

$$\Phi_j\,(x_1, \ldots, x_n\,;\,\beta_1, \ldots, \beta_p) = \sum_{\kappa=0}^{\kappa=\infty} A_\kappa\,(x_1, \ldots, x_n)\,\alpha_{\kappa j}\,(\beta_1, \ldots, \beta_p)\ . \tag{25}$$

Celles-ci convergent uniformément dans le domaine de

$$x_1 = \ldots = x_n = \beta_1 = \ldots = \beta_p = 0.$$

Si l'on pose

$$\Phi_{kj}\,(x_1, \ldots, x_n; \beta_1, \ldots, \beta_p) = \sum_{\mu=0}^{\mu=2p+\kappa-1} A_\mu\,(x_1, \ldots\, x_n)\,\alpha_{\mu j}\,(\beta_1, \ldots, \beta_p)\ , \tag{26}$$

les suites

$$\Phi_{1j}, \Phi_{2j}, \ldots,\ \Phi_{kj}, \ldots \qquad (j=1, 2, \ldots, p), \tag{27}$$

convergent uniformément vers les Φ_j quand $k \longrightarrow \infty$. De plus

$$(\Phi_{kj})_0 = (\Phi_j)_0 = 0, \tag{28}$$

$$\left[\frac{D\,(\Phi_{\kappa 1}, \ldots\ldots\ldots, \Phi_{\kappa p})}{D\,(\beta_1, \ldots\ldots\ldots, \beta_p)}\right]_0 = \left[\frac{D\,(\Phi_1, \ldots\ldots\ldots, \Phi_p)}{D\,(\beta_1, \ldots\ldots, \beta_p)}\right]_0 = \left[(A_p)_0\right]^p \neq 0\ . \tag{29}$$

En définitive, les conditions du théorème du § 2 sont vérifiées par les suites indéfinies de systèmes d'équations

$$\Phi_{kj}(x_1, \ldots, x_n\,;\,\beta_1, \ldots, \beta_p) = 0, \qquad (j=1, \ldots p). \tag{30}$$

Les approximations $\beta_{\mu j}$ des β se calculent donc de proche en proche par les formules récurrentes

$$\beta_{\mu,j} = \beta_{\mu-1,j} - \frac{\begin{vmatrix} \left(\dfrac{\partial\,\Phi_{\mu,1}}{\partial\,\beta_1}\right)_0 \cdots\cdots \left(\dfrac{\partial\,\Phi_{\mu,1}}{\partial\,\beta_{j-1}}\right)_0 \left[\Phi_{\mu,1}\right]_{\beta_s = \beta_{\mu-1,s}} \left(\dfrac{\partial\,\Phi_{\mu,1}}{\partial\,\beta_{j+1}}\right)_0 \cdots\cdots \left(\dfrac{\partial\,\Phi_{\mu,1}}{\partial\,\beta_p}\right)_0 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \left(\dfrac{\partial\,\Phi_{\mu,p}}{\partial\,\beta_1}\right)_0 \cdots\cdot \left(\dfrac{\partial\,\Phi_{\mu,p}}{\partial\beta_{j-1}}\right)_0 \left[\Phi_{\mu,p}\right]_{\beta_s = \beta_{\mu-1,s}} \left(\dfrac{\partial\,\Phi_{\mu,p}}{\partial\,\beta_{j+1}}\right)_0 \cdots\cdot \left(\dfrac{\partial\,\Phi_{\mu,p}}{\partial\,\beta_p}\right)_0 \end{vmatrix}}{\left[\dfrac{D\,(\Phi_{\mu,1}, \ldots\ldots\ldots, \Phi_{\mu,p})}{D\,(\beta_1, \ldots\ldots\ldots\ldots, \beta_p)}\right]_0} \tag{31}$$

moyennant les valeurs intiales $\beta_{0j} = 0$.

Section II

Calcul des coefficients des polynômes de V. Leclercq.

§ 4. — Il est utile de rappeler d'abord les points suivants.

A. *Zéro d'ordre* p *d'un système de fonctions.* — Soit le système

$$F_1(y_1, \ldots, y_n), \ldots\ldots, F_n(y_1, \ldots, y_n) \tag{32}$$

de n fonctions de n variables, holomorphes dans le domaine de zéro.

Ecrivons

$$J_1 = \frac{D(F_1, F_2, \ldots\ldots\ldots, F_n)}{D(y_1, y_2, \ldots\ldots, y_n)} \tag{33}$$

et supposons que l'un au moins des mineurs A_{1k} de ce déterminant fonctionnel ne s'annule pas au point zéro. En changeant éventuellement l'ordre des fonctions F, on peut toujours supposer que c'est un des mineurs

$$A_{11}, A_{12}, \ldots, A_{1n}$$

relatifs à la première ligne de J_1 qui ne s'annule pas au point zéro. Cela étant, posons encore

$$J_k = \begin{vmatrix} \dfrac{\partial J_{k-1}}{\partial y_1} & \cdots\cdots & \dfrac{\partial J_{k-1}}{\partial y_n} \\ \dfrac{\partial F_2}{\partial y_1} & \cdots\cdots & \dfrac{\partial F_2}{\partial y_n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \dfrac{\partial F_n}{\partial y_1} & \cdots\cdots & \dfrac{\partial F_n}{\partial y_n} \end{vmatrix} \tag{35}$$

A cause de (33), cette relation définira par récurrence les déterminants jacobiens $J_2, J_3, \ldots, J_k$. Dans ces conditions, si l'on a au point zéro

$$(F_1)_0 = 0, \ \cdots, \ (F_n)_0 = 0, \tag{36}$$

$$(J_1)_0 = 0, \ \cdots, \ (J_{p-1})_0 = 0, \ (J_p)_0 \neq 0, \tag{37}$$

nous dirons que le système $(F_1, \ldots, F_n)$ a en $y_1 = \ldots = y_n = 0$ un zéro d'ordre p [1].

B. *Transformation du système donné en un système équivalent.*

Si le système $(F_1, \ldots, F_n)$ de fonctions holomorphes de $n+r$ variables $y_1, \ldots, y_n, x_1, \ldots, x_r$ a pour $x_1 = \ldots = x_r = 0$ un zéro d'ordre p en $y_1 = \ldots = y_n = 0$ on peut le transformer en un système équivalent $(F_1', \ldots, F_n')$ jouissant des propriétés suivantes [2] :

(1) V. Leclercq, *loc. cit.*, 26-27.
(2) Id., *ibid.*, 41.

1° Les F'_j sont holomorphes et s'annulent au point zéro ;
2° On a

$$\left(\frac{\partial^{p_1+\cdots+p_n} F'_1}{\partial y_1^{p_1}\cdots\partial y_n^{p_n}}\right)_0 = 0 \text{ pour } p_1+\cdots+p_n < p \,; \tag{38}$$

3° La quantité représentée symboliquement par l'écriture conventionnelle utilisée dans le développement de la formule de Taylor pour les fonctions de plusieurs variables, savoir

$$L'_p = \left(\mathcal{A}'_{11}\frac{\partial F'_1}{\partial y_1} + \cdots + \mathcal{A}'_{1n}\frac{\partial F'_1}{\partial y_n}\right)_0^{(p)} \tag{39}$$

est différente de zéro ;

4° En permutant éventuellement les fonctions F' et les variables y, on peut toujours supposer que le mineur différent de zéro au point zéro est précisément $(\mathcal{A}'_{11})_0$ et écrire

$$(\mathcal{A}'_{11})_0 \neq 0 \quad . \tag{40}$$

5° On peut enfin considérer que le système proposé a déjà subi la transformation équivalente dont il est question et supprimer les accents des lettres F, $\mathcal{A}$, L employées ci-dessus, afin d'éviter la multiplicité des notations.

C. *Les polynomes de V. Leclercq.* — Observant que

$$(\mathcal{A}_{11})_0 = \left[\frac{D(F_2, \ldots, F_n)}{D(y_2, \ldots, y_n)}\right]_0 \neq 0 \quad , \tag{41}$$

on peut, d'après le théorème des fonctions implicites, résoudre le système

$$F_2(x_1, \ldots, x_r; y_1, \ldots y_n) = 0, \ldots, F_n = 0 \tag{42}$$

sous la forme

$$y_2 = \Psi_2(y_1, x_1, \ldots, x_r), \ldots\ldots\ldots, y_n = \Psi_n(y_1, x_1, \ldots, x_r) \quad . \tag{43}$$

Les fonctions $\Psi_2, \ldots, \Psi_n$ sont holomorphes au point zéro et dans son domaine ; elles s'annulent en ce point. Comme nous avons alors identiquement

$$F_i(x_1, \ldots, x_r;\ y_1, \Psi_2, \ldots, \Psi_n) = 0, \qquad (i = 2, \ldots, n), \tag{44}$$

le système proposé (9) est équivalent au système

$$F_1(x_1, \ldots, x_r; y_1, \ldots, y_n) = 0, \qquad y_i - \Psi_i = 0, \qquad (i = 2, 3, \ldots, n) \quad . \tag{45}$$

Or, si l'on pose

$$G(y_1; x_1, \ldots x_r) = F_1(x_1, \ldots, x_r; y_1, \Psi_2, \ldots, \Psi_n) \quad , \tag{46}$$

on sait que

$$\left.\begin{aligned}&\left(\frac{\partial^k G}{\partial y_1^k}\right)_0 = 0 \quad , \text{ si } k < p \quad , \\ &\left(\frac{\partial^p G}{\partial y_1^p}\right)_0 = \frac{1}{(\mathcal{A}_{11})_0^p}\left(\mathcal{A}_{11}\frac{\partial F_1}{\partial y_1} + \cdots + \mathcal{A}_{1n}\frac{\partial F_1}{\partial y_n}\right)_0^{(p)} \neq_0 \quad .\end{aligned}\right\} \tag{47}$$

D'après le lemme de Weierstrass, on peut écrire

$$G = (y_1^p - \beta_1 y_1^{p-1} - \cdots - \beta_p)\, K\,(x_1, \cdots x_r ; y_1) = H_1\, K\,. \tag{48}$$

Les fonctions holomorphes $_j(x_1, \ldots, x_r)$ s'annulent au point zéro ; la fonction holomorphe K est différente de zéro en ce point.

Le système proposé (9) est ainsi équivalent dans le domaine de zéro à

$$H_1 = y_1^p - \beta_1 y_1^{p-1} - \cdots - \beta_p = 0\,, \quad y_i - \Psi_i = 0\,, \quad (i = 2, \ldots, n)\,. \tag{49}$$

D'après un lemme de V. Leclercq [1], les fonctions Ψ_i s'écrivent

$$\Psi_i\,(y_1 ; x_1, \ldots, x_r) = \varphi_{i1}\, y_1^{p-1} + \varphi_{i2}\, y_1^{p-2} + \cdots + \varphi_{ip} + H_1\,\Omega_i\,, \quad (i{=}2, \ldots, n), \tag{50}$$

les φ_{ik} étant des fonctions holomorphes de $x_1, \ldots, x_r$ et Ω_i une fonction holomorphe de $y_1, x_1, \ldots, x_r$. Posant enfin

$$\varphi_i = \varphi_{i1}\, y_1^{p-1} + \cdots + \varphi_{ip}\,, \; H_i = y_i - \varphi_i \tag{51}$$

les solutions du système proposé sont en définitive celles du système

$$\left.\begin{aligned}&H_1 = y_1^p - \beta_1 y_1^{p-1} - \cdots - \beta_p = 0 \\ &H_i = y_i - \varphi_{i1}\, y_1^{p-1} - \cdots - \varphi_{ip} = 0 \;\;, \;\; (i = 2, \ldots, n)\;.\end{aligned}\right\} \tag{52}$$

Les polynomes $H_1, H_2, \ldots, H_n$ sont les polynomes de V. Leclercq. L'auteur montre enfin que l'on a identiquement

$$F_j = K_{j1}\, H_1 + \ldots + K_{jn}\, H_n, \qquad (j = 1, 2, \ldots, n)\,, \tag{53}$$

le déterminant des fonctions holomorphes $K_{js}(x_1, \ldots, x_r; y_1, \ldots, y_n)$ étant différent de zéro au point zéro.

§ 5. — *Calcul des approximations successives des coefficients β_j, φ_{ik} des polynomes de V. Leclercq.*

A. La fonction holomorphe G définie par l'égalité (46) et les fonctions Ψ_i se développent dans le domaine de zéro suivant les formules

$$\left.\begin{aligned}&G\;(y_1 ; x_1, \ldots, x_r) = \sum_{k=0}^{k=\infty} g_k\,(x_1, \ldots, x_r)\, y_1^k\,, \quad g_k = \frac{1}{k!}\left(\frac{\partial^k G}{\partial y_1^k}\right)_{y_1 = 0}; \\ &\Psi_i\,(y_1 ; x_1, \ldots, x_r) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \Lambda_{ki}\, x_1, \ldots, x_r)\, y_1^k\,, \quad \Lambda_{ki} = \frac{1}{k!}\left(\frac{\partial^k \Psi_i}{\partial y_1^k}\right)_{y_1 = 0}, \\ &(i = 2, \ldots, n)\,.\end{aligned}\right\} \tag{54}$$

[1] V. Leclercq, *loc. cit.*, § 10, p. 18.

Les coefficients $\beta_1, \ldots, \beta_p$ de H_1 sont les racines des équations

$$\Phi_s(x_1, \ldots, x_r; \beta_1, \ldots, \beta_p) = \sum_{k=0}^{k=\infty} g_k(x_1, \ldots, x_r)\, \alpha_{ks}(\beta_1, \ldots, \beta_p) = 0, \quad (s = 1, \ldots p). \tag{55}$$

Les coefficients φ_{is} des polynômes H_i s'expriment d'abord en fonction des $x_1, \ldots, x_r, b_1, \ldots, b_p$ par les formules

$$\varphi_{is}(x_1, \ldots, x_r; \beta_1, \ldots, \beta_p) = \sum_{\mu=0}^{\mu=\infty} \Lambda_{\mu i}(x_1, \ldots, x_r)\, \alpha_{\mu s}(\beta_1, \ldots, \beta_p), \quad (i = 2, \ldots, n;\ s = 1, \ldots, p). \tag{56}$$

On a leurs expressions en fonction des x seulement quand on remplace dans les formules ci-dessous les β par leurs valeurs tirées des équations (55). Mais on ne connaît ni les expressions des Ψ, ni par conséquent celle de G ; en effet, on ne peut pas écrire les équations (55) pas plus que les formules (56). Toutefois, le théorème du § 2 permet de calculer les β_j et les φ_{ik} à telle approximation que l'on veut.

B. En effet, d'après la méthode de M. Goursat pour le calcul des fonctions implicites, les Ψ_j sont les limites pour $\mu \to \infty$ des suites uniformément convergentes dont les termes se définissent de proche en proche par les formules récurrentes

$$\Psi_{\mu,j} = \Psi_{\mu-1,j} - \frac{\begin{vmatrix} \left(\frac{\partial F_2}{\partial y_2}\right)_0 \cdots\cdots \left(\frac{\partial F_2}{\partial y_{j-1}}\right)_0 [F_2]\ y_s = \Psi_{\mu-1,s} \left(\frac{\partial F_2}{\partial y_{j+1}}\right)_0 \cdots\cdots \left(\frac{\partial F_2}{\partial y_n}\right)_0 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \left(\frac{\partial F_n}{\partial y_2}\right)_0 \cdots \left(\frac{\partial F_n}{\partial y_{j-1}}\right)_0 [F_n]\ y_s = \Psi_{\mu-1,s} \left(\frac{\partial F_n}{\partial y_{j+1}}\right)_0 \cdots \left(\frac{\partial F_n}{\partial y_n}\right)_0 \end{vmatrix}}{\left[\frac{D(F_2, F_3, \ldots\ldots, F_n)}{D(y_2, y_3, \ldots\ldots y_n)}\right]_0} \tag{57}$$

moyennant les valeurs initiales $\Psi_{0j} = 0$. Les approximations des dérivées partielles des Ψ_j s'obtiennent par dérivation des formules (57). Les fonctions

$$\Psi_{\mu j}(y_1; x_1, \ldots, x_r)$$

sont holomorphes dans le domaine de zéro.

On a dans ce domaine

$$\Psi_{\mu,j} = \sum_{K=0}^{K=\infty} \Lambda^{(\mu)}_{Kj}(x_1, \ldots, x_r)\, y_1^K, \quad \Lambda^{(\mu)}_{Kj} = \frac{1}{k!}\left(\frac{\partial^k \Psi_{\mu j}}{\partial y_1^k}\right)_{y_1 = 0}. \tag{58}$$

Posons actuellement

$$G_{\mu}(y_1 ; x_1, \ldots, x_r) = F_1(x_1, \ldots, x_r ; y_1, \Psi_{\mu 2}, \ldots, \Psi_{\mu n}). \tag{59}$$

Nous écrivons dans le domaine de zéro le développement

$$G_{\mu} = \sum_{K=0}^{K=\infty} g_K^{(\mu)}(x_1, \ldots, x_r)\, y_1^K, \quad g_K^{(\mu)} = \frac{1}{K!}\left(\frac{\partial^K G_{\mu}}{\partial y_1^K}\right)_{y_1=0}. \tag{60}$$

Nous avons de plus en suites uniformément convergentes

$$\lim_{\mu \to \infty} G_{\mu} = G, \quad \lim_{\mu \to \infty} g_K^{(\mu)} = g_K \tag{61}$$

Si l'on pose

$$\Phi_s^{(\mu)}(x_1, \ldots, x_r ; \beta_1, \ldots \beta_p) = \sum_{K=0}^{K=2p+\mu-1} g_K^{(\mu)}(x_1, \ldots, x_r)\, \alpha_{Ks}(\beta_1, \ldots, \beta_p), \tag{62}$$

$$(s = 1, \ldots, p),$$

on a aussi en suites uniformément convergentes

$$\lim_{\mu \to \infty} \Phi_s^{(\mu)} = \Phi_s, \quad (s = 1, \ldots, p). \tag{63}$$

Moyennant les conditions (38), jointes au fait que les approximations $\Psi_{\mu j}$ s'annulent au point zéro, les fonctions G_{μ} ainsi que leurs dérivées partielles premières, ...$(p-1)^{es}$ relatives à y_1 s'annulent aussi en ce point.

Comme on a d'autre part

$$(\alpha_{Ks})_0 = 0 \text{ pour } k > p \tag{64}$$

les équations

$$\Phi_s^{(\mu)}(x_1, \cdots x_n ; \beta_1, \cdots \beta_p) = 0, \quad (s = 1, \ldots p), \tag{65}$$

sont vérifiées pour $x_1 = \ldots = x_r = \beta_1 = \ldots = \beta_p = 0$, (66)

Leur jacobien relatif aux β n'étant pas nul au point zéro, les approximations successives des coefficients de H_1 sont, d'après le § 2, fournies par les formules récurrentes

$$\beta_{\mu,j} = \beta_{\mu-1,j} - \frac{\begin{vmatrix} \left[\frac{\partial \Phi_1^{(\mu)}}{\partial \beta_1}\right]_0 & \cdots & \left[\frac{\partial \Phi_1^{(\mu)}}{\partial \beta_{j-1}}\right]_0 & \left[\Phi_1^{(\mu)}\right]_{\beta_s=\beta_{\mu-1,s}} & \left[\frac{\partial \Phi_1^{(\mu)}}{\partial \beta_{j+1}}\right]_0 & \cdots & \left[\frac{\partial \Phi_1^{(\mu)}}{\partial \beta_p}\right]_0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \left[\frac{\partial \Phi_p^{(\mu)}}{\partial \beta_1}\right]_0 & \cdots & \left[\frac{\partial \Phi_p^{(\mu)}}{\partial \beta_{j-1}}\right]_0 & \left[\Phi_p^{(\mu)}\right]_{\beta_s=\beta_{\mu-1,s}} & \left[\frac{\partial \Phi_p^{(\mu)}}{\partial \beta_{j+1}}\right]_0 & \cdots & \left[\frac{\partial \Phi_p^{(\mu)}}{\partial \beta_p}\right]_0 \end{vmatrix}}{\left[\frac{D\{\Phi_1^{(\mu)}, \ldots, \Phi_p^{(\mu)}\}}{D\{\beta_1, \ldots, \beta_p\}}\right]_0}, \quad (j = 1, \ldots, p), \tag{67}$$

moyennant les valeurs initiales $\theta_{o,j} = 0$. Posant enfin

$$\varphi_{js}^{(\mu)}(x_1, \ldots, x_n; \theta_1, \ldots, \theta_p) = \sum_{\kappa=0}^{\kappa=2p+\mu-1} A_{\kappa j}^{(\mu)}(x_1, \ldots, x_r)\, \alpha_{ks}(\theta_1, \ldots, \theta_p), \tag{68}$$

nous avons en suites uniformément convergentes

$$\lim_{\mu \to \infty} \varphi_{js}^{(\mu)} = \varphi_{js}, \quad (j = 2, \ldots, n;\ s = 1, 2, \ldots p). \tag{69}$$

Les approximations successives des coefficients des H_j sont ainsi données par les formules

$$\varphi_{js}^{*(\mu)} = \sum_{\kappa=0}^{\kappa=2p+\mu-1} A_{\kappa j}^{(\mu)}(x_1, \ldots, x_2)\, \alpha_{ks} \left| \theta_{\mu,1}(x_1, \ldots, x_r), \theta_{\mu,p}(x_1, \ldots, x_r) \right| \tag{70}$$

$$(j = 2, \ldots, n;\ s = 1, 2, \ldots p).$$

SUR UN PROCÉDÉ DE TRANSMUTATION DE FONCTIONS INVARIANTES

par L. FOUARGE,

Professeur à l'Université de Liége

I. — Les notions de variables, coefficients, substitutions étant celles que l'on emploie habituellement dans la théorie des formes algébriques, considérons deux *systèmes transformables généralisés* [1] $(p_1 \dots p_r)$ et $(q_1 \dots q_r)$ à termes linéairement distincts. Si $(w_{11}, w_{12}, \dots\dots w_{rr})$ est un système transformable généralisé cogrédient aux produits $(p_1\, q_1,\; p_1\, q_2,\; \dots\; p_r\, q_r)$ le déterminant

$$w = \begin{vmatrix} w_{11}\, w_{12} \dots w_{1r} \\ w_{21}\, w_{22} \,..\, w_{2r} \\ \dots\dots\dots\dots \\ w_{r1}\, w_{r2} \dots w_{rr} \end{vmatrix}$$

définit une *fonction invariante généralisée* quand il n'est pas nul.

Soient des systèmes transformables généralisés (w'), $(w'')\dots(w^{(t)})$, $t \leqslant r$ cogrédients à (w). On a le théorème suivant :

Si l'on remplace les termes $\mathrm{w_{ij}}$ *de* (w) *contenus dans* $\mathrm{r_1}$ *colonnes du déterminant* w *par les termes homologues* $\mathrm{w'_{ij}}$ *de* $(\mathrm{w'})$ *et si l'on effectue cette opération de toutes les manières possibles ; si, dans chacun des* $\mathrm{C_r^{r_1}}$ *déterminants qui en résultent, on substitue aux termes* $\mathrm{w_{ij}}$ *contenus dans* $\mathrm{r_2}$ *colonnes les termes homologues* $\mathrm{w''_{ij}}$ *de* $(\mathrm{w''})$ *et cela de toutes les manières possibles, etc. ; on obtient des déterminants (en nombre* $\left(\mathrm{C_r^{r_1} \cdot C_{r-r_1}^{r_2} \cdots C_{r-r_1-\cdots-r_{t-1}}^{r_t}}\right)$ *dont la somme est une fonction invariante généralisée.*

On suppose évidemment $r_1 + r_2 + \dots + r_t \leqslant r$.

Il suffit de vérifier l'énoncé quand les systèmes transformables généralisés (w) (w') $(w'')\dots$ dépendent d'éléments (variables et coefficients de formes algébriques), e, e', e'',... distincts. On peut encore se borner au cas où les systèmes transformables généralisés (w) $(w')\dots$ sont exacte-

[1] Pour ces dénominations, voir : *Sur une généralisation du hessien*, note parue dans les *Mémoires de la Soc. R. des Sciences de Liége*, III, **14**, fasc. 3.

Voir pour les définitions et résultats fondamentaux l'important mémoire de M. Jacques Deruyts : *Essai d'une théorie générale des formes algébriques (Mém. de la Soc. R. des Sciences de Liége*, 1890).

ment cogrédients. En effet, s'il n'en est pas ainsi, on peut toujours trouver des fonctions invariantes φ', φ''... telles que les produits $\varphi' w'_{ij}$, $\varphi'' w''_{ij}$ soient exactement cogrédients aux w_{ij}, $i, j=1 \dots r$. Cela revient à multiplier la somme de déterminants dont il est question dans l'énoncé par la fonction invariante $\varphi'^{r_1} . \varphi''^{r_2} \dots$.

Considérons le système transformable généralisé

$$p_{ij} = w_{ij} + w'_{ij} + \cdots + w^{(t)}_{ij},$$

Il est cogrédient à (w) ou aux produits $p_i q_j$; par suite le déterminant

$$p = \Sigma \pm p_{11} \dots p_{rr}$$

est une fonction invariante généralisée.

Le déterminant p se décompose d'ailleurs en une somme de déterminants dont l'un quelconque renferme σ colonnes contenant exclusivement des termes de (w), σ' colonnes composées exclusivement de termes de (w'), etc., sous les conditions

$$\sigma + \sigma' + \dots + \sigma^{(t)} = r.$$

$$\sigma, \sigma', \dots, \sigma^{(t)} = 0, 1, 2, \dots r.$$

Dans la fonction invariante généralisée représentée par p, on rencontre une somme de déterminants que nous représenterons par $p_{r_1 \dots r_t}$ tels que chacun d'eux comprend r_1 colonnes composées de termes de (w'). r_2 colonnes ne renfermant que des termes de (w''), etc., $r-(r_1+\dots+r_t)$ colonnes de w_{ij}. Si (w), (w'),... sont des systèmes transformables ordinaires, c'est-à-dire, si pour chacun d'entre eux, tous les termes ont les mêmes degrés d'homogénéité, tous les déterminants composant $p_{r_1 \dots r_t}$ sont homogènes, des mêmes degrés $r_1 \dots r_t, r - \Sigma r_j$ en les $w'_{ij} \dots w^{(t)}_{ij}, w_i$ et ce sont les seuls ayant ces degrés. Ainsi, dans ce cas particulier, $p_{r_1 \dots r_t}$ est une fonction invariante.

Or, la propriété d'invariance de $p_{r_1 \dots r_t}$ ne peut résulter que de la manière dont se transforment, en vertu des substitutions initiales, les

$$w_{ij}, w'_{ij} \dots w^{(t)}_{ij}$$

et non de l'homogénéité. Donc, quand (w) (w')... sont des systèmes transformables généralisés, $p_{r_1 \dots r_t}$ est une fonction invariante généralisée.

II. *Applications.* — Soient (p) et (q) deux systèmes transformables généralisés à termes linéairement indépendants composés au moyen des quatre systèmes transformables généralisés :

$$(p_1 \cdots p_s), (p_{s+1} \cdots p_r), (q_1 \cdots q_\sigma), (q_{\sigma+1} \cdots q_r).$$

Un système (w) cogrédient aux produits $p_i q_j$ est constitué par la juxtaposition de quatre systèmes transformables g. :

$$w'_{11},\ w'_{12}\ \cdots w'_{s\sigma}\ ;$$
$$w'_{s+1,1},\quad \cdots w'_{r\sigma}\ ;$$
$$w'_{1,\sigma+1},\ \cdots\ w'_{sr}\ ;$$
$$w'_{s+1,\ \sigma+1}\cdots\ w'_{rr}\ .$$

La substitution induite associée au système (w) reste applicable quand on remplace tous les termes d'un de ces quatre systèmes transformables, par des zéros. Pour fixer les idées, supposons

$$\sigma \leqslant \frac{r}{2},\ s \leqslant r - \sigma.$$

Le déterminant

$$\begin{vmatrix} 0 \cdots 0 & w_{1,\sigma+1}\cdots w_{1r} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ 0 \cdots 0 & w_{s,\ \sigma+1}\cdots w_{sr} \\ w_{s+1,1}\cdots w_{s+1,\ \sigma} & w_{s+1,\ \sigma+1}\cdots w_{s+1,} \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ w_{r1} \quad w_{r\sigma} & w_{r,\sigma+1}\ \cdots\ w_{rr} \end{vmatrix}$$

est une fonction invariante g. Elle ne se réduit à zéro que sous des conditions particulières.

Si $f_1 \ldots f_n$, φ sont $n+1$ fonctions invariantes, on retrouve par là le déterminant de Capelli :

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \cdots \frac{\partial f_1}{\partial x_n} & f_1 \\ \cdots\cdots\cdots & \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \cdots \frac{\partial f_n}{\partial x_n} & f_n \\ \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} \cdots \frac{\partial \varphi}{\partial x_n} & 0 \end{vmatrix}$$

Les systèmes transformables généralisés (p) et (q) sont ici

$$\frac{\partial}{\partial x_1} \cdots \frac{\partial}{\partial x_n},\ 1\ ;$$
$$f_1 \ldots f_n,\ \varphi.$$

On a $\sigma = s = 1$.

2e Section : Physique

Président : M. A. DE HEMPTINNE.
Secrétaire : M. C. MANNEBACK.

La section de Physique a tenu cinq séances, au cours desquelles 20 communications ont été présentées. Une communication « Sur le signe de l'Azéotropisme », annoncée par M. M. Lecat, n'a pu être présentée par son auteur. La plupart des communications ont été suivies d'une discussion.

La section de Physique a eu une séance commune avec la section de Chimie ; elle a eu une communication en commun avec la section d'Astronomie, celle de M. Verbaandert.

1re SÉANCE, LUNDI 30 JUIN, MATIN.

M. J. E. VERSCHAFFELT : *Het meten van oppervlaktespanningen.*

M. E. HENRIOT, Mlle DONY-HÉNAULT, M. GOCHE : *Réalisation de rayons magnéto-atomiques d'espèces nouvelles. Etude de l'association formée par des rayons cathodiques et des atomes ionisés.*

2e SÉANCE, LUNDI 30 JUIN, APRÈS-MIDI.

M. G. VAN LERBERGHE : *Durée d'une réaction chimique en milieu homogène.*

M. H. BRASSEUR : a) *Sur une relation entre la morphologie de l'azurite et les dimensions de la maille unité.*

b) *Données nouvelles sur la structure de la dewalquite et considérations sur sa composition chimique.*

M. R. RUYSSEN : *Sur le spectre d'absorption de l'ozone en lumière ultra-violette.*

M. P. SWINGS : *Sur les causes physiques pouvant expliquer la complexité observée dans les termes des spectres de résonance des vapeurs.*

3e SÉANCE, MARDI 1er JUILLET, MATIN.

M. C. MANNEBACK : *Sur un point relatif à la propagation et à l'atténuation des ondes électromagnétiques courtes dans la haute atmosphère.*

M. P. DRUMAUX : *Sur une relation universelle entre l'énergie et le temps.*

M. G. LEMAÎTRE : *L'hypothèse de Millikan-Cameron dans un univers de rayon variable.*

4e Séance, mardi 1er juillet, après-midi.

M. J. Verbaandert : *Enregistrement des signaux horaires à l'Observatoire royal d'Uccle* (v. section d'Astronomie).

M. Th. de Donder : *Sur l'électromagnétisme.*

M. P. Vandenberghen : *Etude de quelques propriétés des champs de haute fréquence.*

M. J. van Mieghem : *Généralisation de la formule de Wiechert-Liénard; application au cas d'une surface électrisée en mouvement.*

5e Séance, mercredi 2 juillet, matin.
(en commun avec la section de Chimie).

M. A. de Hemptinne : *La conductivité électrique des gaz et les rapports de la Science et de l'Industrie.*

M. J. Errera : *Exposé de travaux sur la polarisation électrique.*

M. A. Pinkus : *Sur les cas d'ionisation ne comportant pas de courant de saturation.*

M. W. Mund : *Action chimique des rayons corpusculaires.*

M. J. d'Olieslager : *Désozonisation sous l'action des particules alpha.*

M. R. Gillerot : *Action des particules alpha sur le système H Br.*
(les 3 dernières communications figurent à la section de Chimie).

HET METEN VAN OPPERVLAKTESPANNINGEN

door J.-E. VERSCHAFFELT,

Hoogleeraar aan de Universiteit te Gent

Men kent vele methodes ter bepaling van oppervlaktespanningen; verscheidene daarvan echter hebben slechts theoretisch belang. De meeste zijn afhankelijk van den capillairen randhoek en zijn slechts toepasselijk wanneer men mag aannemen, dat die hoek nul is. Niet alle methodes laten toe absolute metingen te verrichten; verscheidene zijn slechts voor relatieve metingen geschikt, en geven een vergelijking met standaardvloeistoffen, waarvan de capillaire constanten reeds door een absolute methode bepaald werden. Ten slotte laten de meeste methodes niet toe een hoogen graad van nauwkeurigheid te bereiken; zelden bereikt men een nauwkeurigheid van 1 op duizend.

Men kan de bekende methodes verdeelen in twee groepen : de statische en de dynamische methodes. In de eerste worden metingen verricht op vloeistoffen die in rust zijn, dus in evenwicht zijn onder de gezamenlijke werking der zwaartekracht en der capillaire krachten; in de tweede verricht men metingen op vloeistoffen die een beweging vertoonen, welke door de oppervlaktespanning wordt beheerscht of althans merkelijk beinvloed.

De statische methodes kan men onderverdeelen als volgt :

1° De morphometrische methodes, waarbij de vorm van een capillair oppervlak wordt onderzocht ;

2° De stijghoogte methodes, waarbij de capillaire opstijging wordt gemeten van een vloeistof in een nauwe ruimte ;

3° De dynamometrische methodes, waarbij de oppervlaktespanning wordt gemeten door bepaling van een kracht, die haar in evenwicht houdt;

4° De piezometrische methodes, waarbij men den capillairen druk meet op een gebogen vloeistofoppervlak.

Als dynamische methodes kent men de methodes der vloeistofstralen, der trillende druppels, der capillaire golven en de methode der druppelweging, waarbij de grootte wordt bepaald van druppels, die van een horizontaal plaatje afdruipen.

De statische en dynamische methodes geven met zuivere stoffen dezelfde uitkomsten ; alleen bij mengsels kan er verschil zijn wegens de voortdurende ververssching van de oppervlakte, waardoor de samenstelling daarvan veranderlijk en dus onbepaald is.

Ik bepaald me tot het bespreken der methodes, die ik zelf op haar bruikbaarheid heb onderzocht en verder heb ontwikkeld.

De vorm van een capillair oppervlak wordt bepaald door de vergelijking :

$$\sigma\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)=\delta g z, \qquad (1)$$

die men ook schrijven kan :

$$\frac{a}{R_1}+\frac{a}{R_2}=2\frac{z}{a},$$

waarin a voor elke vloeistof in een bepaald punt der aarde een kenmerkende lengteafmeting is ; in den tweeden vorm drukt de capillaire vergelijking de gelijkvormigheidswet uit, waarop de mogelijkheid van relatieve metingen berust.

Door invoering van geschikte coordinaten brengt men die vergelijking in den vorm van een differentiaalvergelijking, die slechts in het geval waar een der krommingen nul is (cylinderoppervlak), integreerbaar is. Praktisch is dat geval van weinig belang. Van bijzonder groot belang daarentegen is het geval, waar het capillair oppervlak een onwentelingsoppervlak is ; schier bij alle metingen plaatst men zich in dat geval. Maar in dat geval is de algemeene integraal der differentiaalvergelijking niet aan te geven, en men moet zich bepalen tot benaderingen en reeksontwikkelingen in de twee uiterste gevallen, waar beide kromstestralen — of althans een daarvan — klein of groot zijn ten opzichte van de kenmerkende lengte a. Dit is een zuiver mathematisch probleem, aan de oplossing waarvan ik heb medegewerkt, maar waarvan ik niet spreken zal.

Op de aldus gevonden formules berusten morphometrische methodes. Maar ook van de capillaire vergelijking in haar oorspronkelijken vorm (1) kan men gebruik maken, doordat het mogelijk is langs meetkundigen weg op verschillende hoogten z de kromtestralen rechtstreeks te bepalen, wanneer de meridiaankromme gegeven is (b. v. door fotografie; toegepast door Verschaffelt en Nicaise). Deze methode leent zich bijzonder goed tot het bepalen van interfaciale spanningen.

De stijghoogtemethode, toegepast op een cylindrische capillaire buis met cirkelvormige doorsnede met straal r, berust op de uit (1) afgeleide formule :

$$h=\frac{a^2}{R},$$

die voor $r<<a$ geschreven kan worden in den vorm eener reeksontwikkeling :

$$\frac{h}{a}=\frac{a}{r}\left[1+A\frac{r^2}{a^2}+B\frac{r^4}{a^4}+\dots\right],$$

waarop de klassieke, absolute methode ter bepaling van a of σ berust. Voor stralen die met a vergelijkbaar zijn, is

$$\sigma = \frac{1}{2} \delta g h r f \left(\frac{r}{a}\right),$$

waarin $f\left(\frac{r}{a}\right)$ een functie is waarvan het verloop langs experimenteelen weg, door gebruik te maken van een standaardvloeistof, of door meetkundige constructie gevonden kan worden (Verschaffelt en Mej. L. Van der Noot). De randhoek wordt ondersteld nul te zijn.

Zelden of nooit is het vloeistofoppervlak buiten den capillair plat, wat het aanbrengen van een correctie op h noodzakelijk maakt; deze correctie kan in vier verschillende omstandigheden bepaald worden, naarvolgens men gebruik maakt van evenwijdige buizen, of van coaxiale buizen, of van een dubbelen capillair, of van een aanhangenden druppel (Sentis).

Bij toepassing van een dynamometrische methode wordt de adhaesie gemeten tusschen de vloeistof en een daarmede in aanraking gebracht voorwerp, dat door de vloeistof wordt bevochtigd. Praktisch is alleen het meten der adhaesie van een verticalen cylinder. Van overwegend praktisch belang is de methode der afrukking van een schijf; de afrukkingskracht wordt uitgedrukt door de formule:

$$F = \pi r^2 \delta g a \sqrt{2} f \left(\frac{r}{a}\right),$$

waarin $f\left(\frac{r}{a}\right)$ weer een functie is, die voor alle vloeistoffen dezelfde is en waarvan ik het verloop langs experimenteelen weg heb gevonden. Voor $r >> a$ kan zij in een reeks ontwikkeld worden, waarvan de eerste coefficienten bekend zijn, zoodat met groote schijven absolute metingen verricht kunnen worden, zooals ik aangetoond heb. Ook voor $r << a$ heb ik een benaderingsformule gegeven.

Bij gebruik van schijven van middelmatige grootte geschiedt het afrukken voor dat een randhoek nul wordt bereikt en behoeft de bevochtiging dus niet volkomen te wezen.

Goed beschouwd is de stijghoogtemeting in een capillair een piezometrische methode: de capillaire druk in den top van den meniscus wordt door den hydrostatischen druk der vloeistof in den capillair in evenwicht gehouden. Eigenlijke piezometrische methodes zijn die, waarbij door vloeistof of gasdruk een vloeistof in den vorm van druppel of bel uit een capillair wordt geperst. Daarbij bereikt de druk een maximum (maximum druk methode). De methode is voor absolute metingen geschikt; ze is in ruime mate onafhankelijk van den randhoek.

De druppelgewichtsmethode, — men zou beter spreken van druppelvolume, want op het volume en niet op het gewicht komt het aan — berust op de formule:

$$V = \pi r a^2 f \left(\frac{r}{a}\right),$$

waarin $f\left(\frac{r}{a}\right)$ nogmaals een functie is, die langs experimenteelen weg gevonden is geworden (Harkins).

Slechts voor uiterst kleine waarden van r is die functie theoretisch bekend (Verschaffelt). De methode is dan ook slechts als relatieve methode bruikbaar. Zij heeft het bezwaar, dat de druppels zich voor het afvallen zeer langzaam moeten vormen (eigenlijk moet men metingen verrichten bij verschillende vormingssnelheden en extrapoleeren tot een snelheid nul, want het volume van den druppel neemt met die snelheid toe); dit maakt de methode onpraktisch. Overigens geschiedt het loslaten van den druppel met een snelheid, die men niet bedwingen kan, en die natuurlijk van de inwendige wrijving afhangt, zoodat het loslaten voor alle vloeistoffen niet noodzakelijk op gelijkvormige wijze plaats heeft; dit verklaart waarschijnlijk het feit, dat bij eenigszins groote stralen de waarde der functie f onzeker wordt. In 't bijzonder heb ik geen constante waarde voor die functie kunnen vinden in het geval dat $\frac{r}{a}$ zijn maximumwaarde heeft bereikt.

Résumé

Aperçu des diverses méthodes de mesure de la tension superficielle. Seules les méthodes étudiées par l'auteur sont exposées ; ce sont :

1° Les méthodes morphométriques ;

2° La méthode des ascensions capillaires ;

3° Les méthodes dynamométriques, en particulier la méthode d'arrachement des disques ;

4° Les méthodes piézométriques, en particulier la méthode de la pression maxima ;

5° La méthode du poids (ou plutôt du volume) des gouttes.

RÉALISATION DE RAYONS MAGNÉTO-ATOMIQUES D'ESPÈCE NOUVELLE ÉTUDE DE L'ASSOCIATION FORMÉE PAR DES RAYONS CATHODIQUES ET DES ATOMES IONISÉS

par M. HENRIOT, M[lle] DONY-HÉNAULT, M. GOCHE,

présentée par E. HENRIOT,

Professeur à l'Université de Bruxelles

On appelle rayons magnéto-cathodiques une projection d'électrons dans un champ magnétique suffisamment puissant pour que ces électrons s'enroulent sur une hélice de très petit diamètre : l'aspect général d'un tel rayon est alors filiforme, et il est dirigé exactement suivant une ligne de force magnétique. M. Moens et l'un de nous ont étudié, il y a quelques années, différentes particularités de ces rayons, notamment de ceux qui sont produits à faible vitesse (quelques volts) à partir d'une cathode incandescente.

Rayons magnéto-atomiques. — Je ne crois pas que dans la littérature scientifique on ait déjà mentionné la possibilité de réaliser le même phénomène avec des ions, c'est-à-dire que je crois nouvelle la réalisation de rayons formés de vapeurs matérielles et suivant exactement les lignes de force magnétique. J'ai cru bien faire en présentant au Congrès ce phénomène d'une façon peut-être prématurée : si, en effet, l'existence du phénomène est bien établie, certaines particularités restent à expliquer qui font l'objet d'expériences en cours.

C'est en observant les rayons magnéto-cathodiques que cette forme de rayons atomiques nous est apparue fortuitement. Un filament de tungstène, servant de cathode, et évaporé lentement dans un champ magnétique donne sur une plaque métallique un dépôt noir rectiligne qui est une projection cylindrique du filament. Ce dépôt est parfaitement net et fin. J'ai pu croire quelque temps à une modification physique de la plaque par le bombardement des rayons magnéto-cathodiques. Ceux-ci sont en effet très corrodants (ils traversent rapidement plusieurs millimètres de verre, mais non les substances métalliques). Une observation plus précise nous a montré qu'il s'agit bien d'un dépôt de tungstène. Nous avons pu réaliser le même phénomène avec d'autres substances (Wo, C, Pt, S, Na).

1° Pour les substances peu volatiles (Wo, C, Pt,) nous avons utilisé la vapeur d'un filament horizontal F, porté à l'incandescence par un cou-

rant et qui donne une nappe horizontale d'atomes dans un champ magnétique H, dirigé horizontalement. Une anode entaillée d'une fente verticale n'en laisse passer qu'un faisceau filiforme. Ce dernier pénètre dans une chambre où le champ électrique est nul : les atomes y forment un filet délié qui suit exactement les différentes orientations qu'on peut donner au champ magnétique et qui vient donner une trace ponctuelle sur un écran E.

Le procédé précédent n'est applicable que quand on peut réaliser simultanément une évaporation importante d'atomes et d'électrons : l'importance du phénomène dépend probablement du produit des deux vitesses d'évaporation. Pour le fer, par exemple, au-dessous de la température de fusion (1200 à 1300°) la vitesse d'évaporation du fer est grande, mais celle des électrons est très faible et le phénomène ne se produit pas.

2° Pour les substances volatiles (S, Na, etc.) elles sont vaporisées dans la chambre de champ nul par un petit four électrique ; les atomes en s'évaporant partent tout droit de la substance (gaz à une dimension). Ils rencontrent un faisceau filiforme ou une nappe de rayons magnéto-cathodiques. Dès qu'ils ont rencontré ces rayons, ils les accompagnent et viennent donner un dépôt ponctuel ou rectiligne.

Théorie du phénomène et nécessité expérimentale d'une liaison entre les deux sortes de rayons. — Comment expliquer ces phénomènes? La percussion par un électron lancé par plus de 500 volts (voltage utilisé en général) peut ioniser les atomes. La densité des électrons dans un faisceau magnéto-cathodique étant énorme, la production d'ions sera plus intense que par tout autre procédé connu. Supposons l'atome quasi immobile, la percussion se fera sans que la quantité de mouvement puisse augmenter. Le rayon maximum de l'enroulement cathodique sera

$$r_{\max} = m\,v\,\frac{c}{e\,H}$$

Le rayon maximum pour l'enroulement atomique sera

$$r'_{m.x} = m'\,v'\,\frac{c}{n\,e\,H}$$

n étant le nombre de fois que l'atome est ionisé.

Comme $m'\,v' < m\,v$, $r'_{\max} < r_{\max}$.

Le faisceau magnéto-cathodique étant filiforme (r petit), le faisceau magnéto-atomique le sera à fortiori.

L'atome s'enroulera sur une hélice de très petit diamètre et le faisceau suivra exactement une ligne de force magnétique.

Voici, à titre d'indication, les rayons maxima de l'enroulement décrit par un atome de masse atomique 100, ionisé une fois, dans un champ de 2000 gauss :

a) Quand il a une vitesse égale à la vitesse moyenne d'agitation thermique à 1000° $r_{max} = 1^{mm},44$;

b) Quand il est lancé par 100 volts $r_{max} = 6^{mm}$.

(Il ne s'agit que de valeurs maxima réalisées quand la vitesse est purement transversale sur H.)

Il semble donc que la formation de rayons magnéto-atomiques soit complètement explicable par ce qui précède. Certaines particularités de ce phénomène sont au contraire inexplicables si on n'admet pas une liaison mécanique énergique entre le faisceau d'atomes et le faisceau d'électrons, *en présence d'un champ magnétique ou sans champ magnétique*, on peut, en effet, en l'absence de champ magnétique faire l'expérience suivante :

Un faisceau d'atomes, soit qu'il sorte d'une cathode incandescente et s'ionise par les électrons issus de la même cathode, soit qu'il provienne de l'évaporation d'une substance volatile (Na) et qu'il rencontre une nappe ou un faisceau filiforme cathodique, accompagne par la suite la nappe ou le faisceau cathodique dans tous ses mouvements et toutes ses déformations, et les atomes viennent se déposer sur une paroi solide à l'endroit frappé par les électrons :

a) Un filament vertical donne des rayons cathodiques qui, ayant traversé une fente horizontale, donnent une nappe plane horizontale. Des atomes de Na qui la rencontrent l'accompagnent et donnent une trace horizontale. En faisant agir un champ magnétique faible longitudinal, le faisceau cathodique prend une section en forme de S ; pour des champs de plus en plus forts les deux branches de l'S se replient de plus en plus, jusqu'à se réduire en un point unique au centre. Dans toutes ces déformations du faisceau cathodique, le faisceau d'atomes l'accompagne exactement et se dépose aux points qu'il frappe (projection d'un cliché réalisé au moyen d'atomes de carbone) ;

b) Lorsqu'un faisceau magnéto-cathodique traverse un champ électrique h, transversal, il est déplacé dans une direction normale aux champs h et H.

Il fait un angle φ, avec le champ H, donné par

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{ch}{v_l \mathrm{H}}$$

(où v_l est la composante longitudinale de vitesse, suivant H). La même expérience est valable pour un rayon magnéto-atomique puisque φ ne dépend ni de la charge ni de la masse de la particule. On aura dans ce cas

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{ch}{v_l' \mathrm{H}}$$

Comme les composantes longitudinales n'ont aucune raison pour être égales, et qu'au contraire, on doit avoir $v' << v$ on devrait observer une séparation des deux faisceaux, puisque $\varphi' >> \varphi$.

Il n'en est rien, les deux faisceaux ne se séparent pas.

Il faut, pour que cela soit possible qu'il y ait des échanges énergiques

de quantité de mouvement entre électrons et ions, les atomes étant en quelque sorte emprisonnés dans le faisceau cathodique ou magnéto-cathodique comme la lumière est emprisonnée dans le jet d'une fontaine lumineuse.

Il y a dans cette liaison quelque chose d'assez mystérieux : en admettant que le champ électrique dû aux électrons soit assez puissant pour rappeler constamment l'atome ionisé, il faut encore compter avec la petitesse de la masse des électrons (100.000 fois plus petite que celle des atomes). En tout cas, cette explication ne vaut que si la vitesse des atomes est très petite. Peut-être pourrait-elle expliquer l'état de cohésion que M. Thibaud considère comme nécessaire pour interpréter les propriétés de certains faisceaux filiformes d'électrons.

Dissociation des deux faisceaux. — Quoique cette solidarité soit très grande, elle n'est probablement pas telle que l'on ne puisse dissocier les deux faisceaux. Si, par exemple, on reçoit le faisceau magnéto-cathodique et magnéto-atomique dans un champ électrique antagoniste pour les électrons, on voit le faisceau magnéto-cathodique s'arrêter avant d'atteindre l'écran, puis rétrograder, alors que le jet d'atomes (probablement ionisé positivement avec Wo qui a servi pour cette expérience) continue son chemin et vient donner sa trace sur un écran. Des expériences sont en cours sur cette dernière question sur laquelle nous réservons encore nos conclusions.

Souvent la trace ponctuelle d'un faisceau magnéto-atomique est entourée d'une légère auréole circulaire qui est due probablement à des atomes ionisés entre le filament et l'anode, (c'est-à-dire dans un champ h non nul), ils peuvent ainsi prendre une vitesse appréciable et s'enroulent sur une hélice de diamètre plus grand. Ce phénomène est particulièrement marqué dans le cas de la rétrogradation du faisceau magnéto-cathodique. les ions sont en effet tous formés dans un champ électrique différent de zéro et leur impact donne un petit cercle parfaitement délimité.

S'agit-il véritablement de *rayons*? Dans ces expériences, les atomes ne manifestent leur existence qu'au point d'impact des électrons sur l'écran. Il est permis de se demander s'ils ont accompagné le faisceau d'électrons pour arriver à ce point d'impact (c'est ce que nous avons admis implicitement dans ce qui précède) ou bien s'ils arrivent à ce point d'impact sans accompagner ce faisceau. Il pourrait en être ainsi dans le cas suivant : supposons que le choc d'un atome contre les parois soit élastique en général, et soit mou au point d'impact des électrons. La matière s'accumulera en ce point sans avoir constitué un rayonnement matériel dirigé et sans avoir été emprisonnée dans le faisceau cathodique. Les expériences sur la rétrogradation de ce faisceau (suppression de l'impact cathodique) semblent exclure cette hypothèse. D'autres expériences sont en cours pour nous fixer définitivement sur ce point.

DURÉE D'UNE RÉACTION CHIMIQUE EN MILIEU HOMOGÈNE

par G. VAN LERBERGHE,

Professeur à l'Ecole des Mines de Mons

---

1. Nous étudierons un système physico-chimique à une seule phase, siège d'une seule réaction chimique, et dont l'état est entièrement défini par sa pression p, sa température T et l'avancement ξ de la réaction. Il est admis que la vitesse de réaction

$$\frac{d\xi}{dt}$$

dépend seulement de l'état du système [1] :

$$\frac{d\xi}{dt} = f(T, p, \xi). \tag{1}$$

La transformation que le système effectue dépend aussi des conditions extérieures imposées. D'une manière générale nous traduirons ces conditions par

$$T = \varphi_1(\xi) \qquad p = \varphi_2(\xi). \tag{2}$$

L'équation (1) prend donc la forme

$$\frac{d\xi}{dt} = f(\varphi_1, \varphi_2, \xi) \text{ ou } F(\xi). \tag{3}$$

C'est l'intégration de (3) qui donnera *à chaque instant l'état du système*. Pratiquement, la solution n'a été obtenue que dans un petit nombre de cas particuliers. D'ailleurs φ_1 et φ_2 sont arbitraires. Il est pourtant possible de démontrer certaines propriétés cinétiques du système, avec très peu d'hypothèses sur la fonction f.

Nous supposerons que les équations $f(T, p, \xi) = 0$ et (2) ont au moins une solution : T_e, p_e, ξ_e désignera l'état d'équilibre, que l'on rencontre le premier en suivant la transformation (2), à partir de l'état initial T_0, p_0, ξ_0. La présente étude porte sur le temps nécessaire au système pour arriver à cet état d'équilibre.

Nous supposerons aussi que le domaine (surface ou volume) où f s'annule sépare, dans l'espace T, p, ξ, deux régions : dans l'une, $f>0$, dans l'autre $f<0$. Les raisonnements étant en tout point semblables pour l'une

[1] Duhem, Marcelin, De Donder, Jouguet, etc.

et l'autre de ces régions, nous nous mettrons dans le cas où $f>0$, d'où $F(\xi)>0$. Le domaine où $f=0$ ne sera pas considéré car ξ ne peut varier dans ce domaine (donc pas de réactions : équil. st., inst., métast.).

II. *Théorème. — Le système tend nécessairement vers le premier état d'équilibre qui se présente sur sa transformation.*

En résumé, la démonstration de ce théorème est basée sur le fait que $F>0$ dans l'intervalle ξ_o, ξ_e (ξ_e exclus) ; donc ξ croît en restant inférieur à ξ_e ; il tend donc nécessairement vers une lim. Cette lim. doit être ξ_e car on voit aisément que tout point $\xi_1<\xi_e$ est atteint en un temps fini, et en ce point ξ_1, $\frac{d\xi}{dt}$ est encore positif.

Nous verrons s'il peut atteindre cet état d'équilibre et dans quel cas il peut le dépasser.

III. *Accélération de la réaction.* — On trouve immédiatement que cette accélération vaut

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = F(\xi)\,F'(\xi) \tag{4}$$

et aussi que

$$F'(\xi) = \overline{\text{grad}}\ f \cdot \frac{\overline{ds}}{d\xi} \tag{5}$$

où figurent le gradient de la fonction f, et le vecteur $\overline{ds}$ dont les projec-

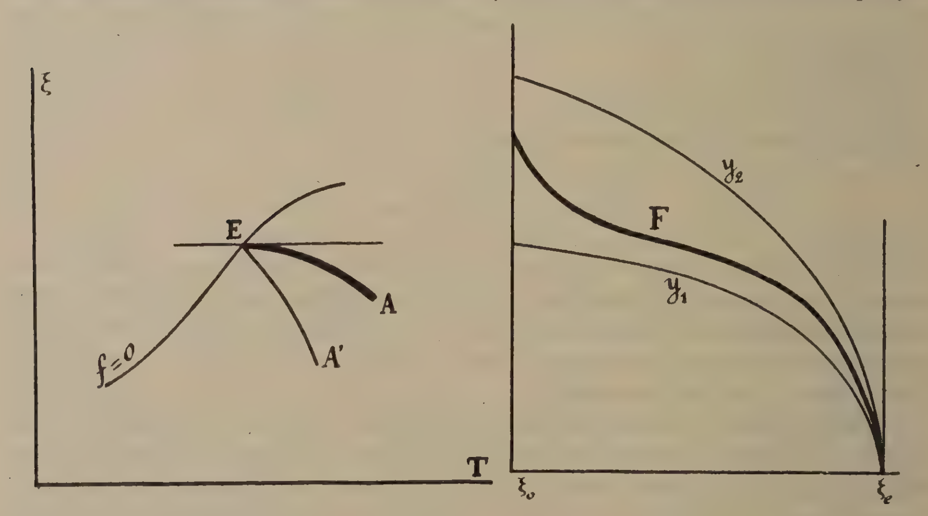


Fig. 1 Fig. 2

tions sur les axes rect. OT, Op, Oξ, sont dT, dp, $d\xi$.

On a encore, pour (5)

$$F'(\xi) = \frac{(\text{grad}\ f)_s}{\cos\ \xi,\ s}\,; \tag{6}$$

$(\text{grad } f)_s$ est la projection du grad f sur l'axe s (cet axe tangentiel est pris de façon que

$$\frac{ds}{dt} > 0).$$

Nous voyons que l'accélération dépend non seulement de l'état du système, mais essentiellement de sa transformation.

Au voisinage de l'équilibre E, deux cas se présentent :

a) $F'(\xi)$ reste borné quand ξ tend vers ξ_e ; l'accélération tend toujours vers zéro ;

b) $F'(\xi)$ tend vers l'infini quand ξ tend vers ξ_e ; il faut pour cela que $\cos \xi, s$ tende vers zéro. L'accélération peut alors tendre vers une valeur finie non nulle.

Ce dernier cas se présente en pratique, par exemple, lorsqu'à p constant, on augmente ou diminue sans cesse T pour atteindre l'état d'équil. (fig. 1). On a, en effet, $\frac{dT}{dt} = -k$, $(k > 0)$, ou $\left(\frac{dT}{d\xi}\right)\left(\frac{d\xi}{dt}\right) = -k$; or $\frac{d\xi}{dt}$ tend vers zéro, donc $\frac{dT}{d\xi}$ tend vers ∞. D'ou $(\cos \xi\, s)_e = 0$. La transformation est du type A.E.

IV. *Solutions approchées de l'équation* (3).

A) Soit $F'(\xi)$ borné quand ξ tend vers ξ_e. Supposons l'intervalle (ξ_1, ξ_e) tel que F' et F'' soient bornés ; d'où

$$F(\xi) = F(\xi_e) + (\xi - \xi_e) F'(\xi_e) + \frac{1}{2}(\xi - \xi_e)^2 F''(\xi_e + \theta[\xi - \xi_e]). \qquad (7)$$

$F(\xi_e) = 0$; d'autre part, à l'équilibre $\cos \xi\, s > 0$, et $(\text{grad } f)_s < 0$; posons donc

$$F'(\xi_e) \equiv -a \qquad (a > o) \qquad (8)$$

$$-2m \leqslant F''(\xi_e + \theta[\xi - \xi_e]) \leqslant 2M. \qquad (M, m > 0) \qquad (9)$$

On aura

$$a(\xi_e - \xi) - m(\xi_e - \xi)^2 \leqslant \frac{d\xi}{dt} \leqslant a(\xi_e - \xi) + M(\xi_e - \xi)^2 \qquad (10)$$

Intégrons :

a) $a > 0$. Les deux inégalités (10) s'intègrent facilement :

$$\left(\frac{aB}{m}\right)\frac{e^{-at}}{(1 + B e^{-at})} \geqslant \xi_e - \xi \geqslant \left(\frac{aA}{M}\right)\frac{e^{-at}}{1 - A e^{-at}}, \qquad (11)$$

où l'on a posé

$$A \equiv \frac{(\xi_e - \xi_0)}{\left(\xi_e - \xi_0 + \frac{a}{M}\right)} > 0 \text{ et } B \equiv \frac{\xi_e - \xi_0}{\left(\frac{a}{m} - \xi_e + \xi_0\right)} > 0 ; \qquad (12)$$

dans la deuxième inégalité (11) nous avons supposé

$$\xi_e - \xi_0 < \frac{a}{m}$$

De (11) on déduit aussi

$$\left(\frac{aB}{m}\right) e^{-at} > \xi_e - \xi > \left(\frac{aA}{M}\right) e^{-at} ; \qquad (13)$$

$\xi_e - \xi$ est donc compris entre deux fonctions exponentielles (de même décrément logarithmique)

b) $a=0$. D'où

$$\xi_e - \xi \geqslant \frac{1}{\left\{ Mt + \frac{1}{\xi_e - \xi_0} \right\}}; \tag{14}$$

$\xi_e - \xi$ est égal ou supérieur à une fonction hyperbolique.

B) $F'(\xi)$ tend vers ∞ quand ξ tend vers ξ_e. Supposons $F(\xi)$ développable suivant les puissances $\left(\frac{1}{n}\right)^e$ de $\xi_e - \xi$. Nous trouverons encore (fig. 2).

$$y_1 \leqslant F(\xi) \leqslant y_2 \tag{15}$$

nous nous limiterons au cas où l'on peut prendre

$$\begin{cases} y_1 = 2\alpha (\xi_e - \xi)^{1/2}, \\ y_2 = 2\beta (\xi_e - \xi)^{1/2}. \end{cases} \tag{16}$$

On en déduit que

$$[(\xi_e - \xi_0)^{1/2} - \alpha t]^2 \geqslant \xi_e - \xi \geqslant [(\xi_e - \xi_0)^{1/2} - \beta t]^2 \tag{17}$$

tant que les quantités entre crochets sont positives. On voit que le système aura atteint son état d'équilibre en un temps t_e tel que

$$\frac{(\xi_e - \xi_0)^{1/2}}{\alpha} > t_e > \frac{(\xi_e - \xi_0)^{1/2}}{\beta} \tag{18}$$

V. *Durée des réactions chimiques.* — Dans le cas A, les équations (11, 13) et (14) montrent que le système tend vers l'équilibre, quand t tend vers ∞. L'état d'équilibre n'est donc jamais atteint. Dans le cas A *a*), nous possédons deux solutions approchées qui indiquent avec quelle rapidité le système tend vers l'équilibre. Dans ce cas entrent les isothermes-isobares et les adiabatiques-isobares ou isochores qui tendent vers un état d'équilibre véritable.

Dans le cas B (fig. 1 et 2) (18) montre que l'équilibre est atteint *en un temps fini* et nous possédons deux valeurs approchées de ce temps (l'une par excès, l'autre par défaut).

Nous aborderons dans une autre étude le cas d'un système qui quitte un état d'équilibre, ainsi que divers cas particuliers intéressants.

SUR UNE RELATION ENTRE LA MORPHOLOGIE DE L'AZURITE ET LES DIMENSIONS DE LA MAILLE-UNITÉ

par Henri BRASSEUR,

Assistant à l'Université de Liége

Les progrès rapides dans la structure des cristaux ont déjà permis d'établir certaines relations entre les propriétés physiques des cristaux et leurs propriétés structurelles.

On se persuade maintenant de plus en plus qu'il doit être possible de déduire l'aspect général des cristaux, autrement dit le facies, à partir de leurs propriétés structurelles. Cette déduction devra se baser sur des lois relativement simples qu'on ne pourra obtenir qu'en établissant d'abord d'une façon systématique des parallèles entre la structure et le facies des cristaux. Ceci exige la connaissance, non seulement de la répartition des atomes constituants dans la maille cristalline, mais encore les propriétés morphologiques des cristaux.

Mon intention n'est pas de signaler ici les moyens employés jusqu'à présent pour obtenir l'expression la plus fidèle de ces propriétés extérieures. On a bientôt remarqué que la meilleure procédure consistait à soumettre à des calculs statistiques les résultats accumulés pendant plus de cent ans par les minéralogistes et les cristallographes, ce qui fait ressortir les tendances générales de la cristallisation et diminue notablement l'importance des propriétés accessoires qui ont pu se développer fortement dans un gisement particulier correspondant à des conditions spéciales accompagnant la cristallisation.

On a ainsi introduit dans les études de morphologie les notions de fréquence et persistance par combinaison, persistance par gisement, grandeur d'une forme (1). Tout récemment, dans une recherche que j'ai faite dans ce sens relativement à l'azurite, j'ai jugé nécessaire d'introduire la notion nouvelle, d'ailleurs très simple, de l'importance d'une zone (2).

Grâce à elle, je me suis aperçu que la loi d'Haüy de simplicité des indices des formes s'appliquait aussi aux notations des zones importantes.



(1) Pour ces définitions, je renvoie le lecteur aux nombreux travaux de V. Goldschmidt et P. Niggli.

(2) L'importance d'une zone, d'après notre définition, s'obtient en faisant la somme des persistances des faces qui font partie de la zone.

L'azurite est un cristal monoclinique de composition $2CuCo_3 . Cu(OH)_2$. Le nombre des formes actuellement connues est de 178 et le nombre des combinaisons de formes étudiées de 693. Le nombre des gisements où il a été trouvé sous forme de combinaison est de 62. Ce minéral est donc tout particulièrement désigné pour une étude morphologique au sens actuel du mot.

Les formes les plus persistantes sont les suivantes :

(001)	96.1	$(\bar{3}02)$	29.0
(110)	89.3	(221)	28.9
(100)	86.4	(120)	25.7
$(\bar{1}01)$	78.1	$(1\bar{1}1)$	22.8
(101)	68.6	$(\bar{2}43)$	21.3
(221)	65.5	(111)	20.1
(023)	61.5	(201)	18.5

A partir de ces valeurs des persistances et moyennant la définition de l'importance d'une zone que nous avons donnée précédemment, on trouve par ordre d'importance décroissante les zones suivantes :

Zone	Importance	Zone	Importance	Zone	Importance
010	978	210	437	011	367
100	938	$11\bar{1}$	426	332	357
110	703	232	418	032	344
001	689	$21\bar{2}$	404	102	341
012	512	212	402	232	335
111	475	122	376	332	310
$11\bar{2}$	460	102	373	322	308

Toutes les zones restantes ont une importance inférieure à 300.

On remarque immédiatement le nombre considérable de zones dont la dernière caractéristique est paire et l'une au moins des deux autres impaire.

On peut d'ailleurs démontrer d'une façon presque absolue que les zones de notation $(h . k . 2l)$ où l est entier ont une importance nettement supérieure aux zones de notation $(h . 2l . k)$ ou $(2l . k . h)$, ce qui prouve que la parité de la dernière caractéristique associée aux zones importantes a une réalité indiscutable et n'est pas l'effet d'un pur hasard. L'explication la plus logique de ce fait se trouve évidemment dans l'adoption d'un paramètre c deux fois trop petit comparativement aux axes b et a. On voit combien il était intéressant de vérifier par une étude au moyen des rayons de Roentgen cette conclusion qui se présente naturellement lors d'une étude morphologique.

J'ai pu déterminer récemment au laboratoire de M. le professeur W.-L. Bragg, les axes de la maille-unité de l'azurite par la méthode du cristal tournant d'angles de 30°. Les valeurs susceptibles de légères varia-

tions lors de mesures plus précises au moyen du spectromètre, sont les suivantes :

$$a = 4{,}93\ \text{Å} \qquad b = 5{,}80\ \text{Å} \qquad c = 10{,}21\ \text{Å}$$

et les rapports des paramètres à adopter sont bien

$$a : b : c = 0{,}85 : 1 : 1{,}76$$

qu'ont employés Lévy, Delafosse, Dufrénoy, Ungemach et non

$$a : b : c = 0{,}85 : 1 : 0{,}88$$

utilisés par un grand nombre d'auteurs et par nous-même par suite de l'importance des travaux publiés par les auteurs qui ont adopté les valeurs inexactes. Les notations des zones importantes deviennent donc :

$$010,\ 100,\ 110,\ 001,\ 011,\ 221,\ 11\bar{1},\ 231,\ 21\bar{1},$$

$$211,\ 121,\ 101,\ 021,\ 33\bar{1},\ 031,\ 10\bar{1},\ 23\bar{1},\ 331,\ 32\bar{1}$$

et se conforment d'une manière beaucoup plus satisfaisante à la loi d'Haüy.

Ceci montre donc que cette loi à laquelle les caractéristiques des formes se sont toujours soumises jusqu'à présent avec une généralité vraiment étonnante s'applique également très bien aux notations des zones importantes telles que nous les définissons.

Non seulement, c'est un succès nouveau pour la loi d'Haüy dont la réalité s'est vérifiée si souvent, mais encore une démonstration de l'existence de relations intimes entre la structure et la morphologie d'un cristal, relations que l'on ne tardera sans doute pas à découvrir.

DONNÉES NOUVELLES SUR LA STRUCTURE DE LA DEWALQUITE ET CONSIDÉRATION SUR SA COMPOSITION CHIMIQUE,

par Henri BRASSEUR,

Assistant à l'Université de Liége

Les cristaux de dewalquite n'ont jusqu'à présent été trouvés qu'à Salm-Château. Les premiers étudiés font l'objet d'un mémoire de Lasaulx et Bettendorf présents à la « Niederrheinische Gesellschaft für Natur- und Heilkunde » du 23 novembre 1872 et publié dans les *Annalen der Physik* (1).

Les recherches cristallographiques de ces auteurs portent sur des cristaux assez mal formés et limités par des faces peu nettes dont la plupart sont striées. Des mesures d'angles qu'ils ont effectuées résultent les rapports suivants des paramètres

$$a : b : c = 0{,}4663 : 1 : 0{,}3135.$$

Ces auteurs signalent toutefois que vu la petitesse des cristaux dont ils disposent, la possibilité de mesures précises est exclue et qu'il faut considérer les nombres ci-dessus comme approximatifs. L'analyse chimique qu'ils ont faite d'un échantillon brun sombre leur a donné les résultats suivants :

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	V_2O_5	H_2O	CuO, P_2O_5
29,74	23,50	1,95	25,95	3,42	2,05	9,14	4,04	traces

La densité de cet échantillon sans arsenic est de 3,62.

Pisani (2) effectue également peu après une recherche de la composition chimique et obtient une première fois un résultat décelant 8,71 % de V_2O_5 et ne mettant en évidence aucune trace d'arsenic ; une deuxième fois, pour un autre échantillon, il obtient l'analyse suivante relative à un cristal jaune-brun.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	V_2O_5	As_2O_5	H_2O	CuO
28,40	24,80	1,31	25,70	4,07	2,98	3,12	6,35	5,20	0,22

Bettendorf (3) a repris l'analyse et a pu déceler certaines quantités d'arsenic par deux analyses différentes.

(1) *Annalen der Physik*, 243, **149** (1873).
(2) C. R. **57**, 1542, 1872.
(3) *Annalen der Physik* (1877).

Echantillon brun transparent :

SiO_2	Al_2O_3	MnO	MgO	CuO	V_2O_5	As_2O_5	H_2O	Densité:
27,84	24,22	26,70	3,01	2,17	9,20	2,76	5,01	3,643.

Echantillon jaune opaque :

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CuO	V_2O_5	As_2O_5	H_2O	CuO	Densité:
27,50	22,76	1,15	30,61	1,38	1,83	0,53	9,33	5,13	0,17	3,656.

Bettendorf signale encore que la teneur en As_2O_5 peut varier considérablement d'un échantillon à l'autre.

Pendant le court séjour que j'ai pu faire récemment au laboratoire de M. le professeur Bragg à l'Institut de physique de la « Victoria University » de Manchester, j'ai pu déterminer la maille-unité de la dewalquite en étudiant ce cristal par la méthode du cristal tournant d'angles limités. Quinze photographies et une mesure au spectromètre à ionisation m'ont permis de trouver les valeurs suivantes des axes :

$$a = 8{,}69\ \text{Å}, \qquad b = 18{,}28\ \text{Å}, \qquad c = 5{,}79\ \text{Å}$$

Les rapports des axes calculés à partir de ces derniers chiffres sont donc

$$a : b : c = 0{,}475 : 1 : 0{,}317$$

On peut moyennant ces résultats se proposer de déterminer le nombre de molécules contenues dans la maille-unité de la dewalquite.

On sait qu'il se calcule à partir de la relation

$$N = \frac{V \ . \ d}{M \ . \ 1{,}64} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

où N est le nombre cherché, V le volume de la maille exprimé en Å^3. D'après ce qui précède, le volume de la maille est parfaitement connu et vaut 920 Å^3.

La densité varie évidemment d'un échantillon à l'autre, mais les déterminations faites jusqu'à présent ne montrent qu'une différence de 1 % causée probablement en majeure partie par le remplacement de V_2O_5 par As_2O_5. Il est donc impossible de faire subir à l'une ou à l'autre de ces données un changement appréciable.

L'obtention du poids moléculaire est sans doute plus difficile et fournit un sujet susceptible de donner lieu à une discussion assez longue que nous nous permettrons seulement d'aborder ici.

Dana [1] déduit à partir des analyses que nous avons mentionnées ci-dessus, la formule

(1) Hintze indique une formule qui s'obtient presque exactement de la précédente en la multipliant par 1.25 ; seuls les nombres de molécules de H_2O et de V_2O_5 restent inchangés.

Il est facile de voir qu'aucune de ces formules ne convient.

$$5\,H_2O \,.\, 4\,Al_2O_3 \,.\, 8\,MnO \,.\, V_2O_5 \,.\, SiO_2$$

correspondant à

$$5{,}2\ \%\ H_2O,\ 32{,}8\ \%\ MnO,\ 23{,}6\ \%\ Al_2O_3,\ 10{,}6\ \%\ V_2O_5,\ 27{,}8\ \%\ SiO_2$$

D'une part, si l'on emploie la formule de Dana, on trouve comme nombre de molécules contenues dans la maille-unité

$$N = \frac{920 \;.\; 3{,}64}{1.728.\; 1{,}64} = 1{,}18$$

nombre absolument inadmissible. La formule de Hintze conduit à un résultat beaucoup meilleur. Le poids moléculaire qu'on en déduit est en effet de 2.092 et la valeur de N qu'on obtient alors est 0,977, ce qui est satisfaisant.

Toutefois, la molécule proposée par Hintze contient 55 atomes d'oxygène et le groupe de recouvrement que nous avons obtenu, à savoir V_{h13}, exclut la possibilité de l'existence de points qui par symétrie, ne donne lieu à aucun point différent du point initial.

La formule chimique de la dewalquite doit donc se chercher par une transformation légère de celle donnée par Hintze. Pour faire cette transformation, il y aurait intérêt à disposer de nouvelles analyses dont la précision serait nécessairement supérieure à celle des déterminations que la chimie analytique d'il y a cinquante ans permettait de faire.

SUR LE SPECTRE D'ABSORPTION DE L'OZONE EN LUMIÈRE ULTRA-VIOLETTE

par R. RUYSSEN,

(Laboratoire de Chimie générale, Université de Gand)

Comme début de recherches sur les propriétés optiques du mélange réactionnel chlore et ozone, nous avons été amenés à vérifier les données concernant le spectre d'absorption de l'ozone en lumière ultra-violette. L'ozone possède dans cette partie du spectre une large bande d'absorption, découverte par HARTLEY (1). Opérant sur une échelle de concentrations plus étendue, LADENBURG et LEHMANN (2) confirment à 316 μμ la limite d'absorption vers le visible pour les faibles concentrations en ozone. Pour les fortes concentrations apparaissent au delà de la bande plusieurs raies qui se multiplient et s'étendent davantage vers les grandes longueurs d'onde à mesure que la concentration croît. Au total douze raies de 332 à 356,6 μμ furent observées et la limite d'absorption complète s'étendait jusqu'à 338,8 μμ.

D'autre part, FOWLER et STRUTT (3) signalent déjà l'apparition du système de bandes étroites avec de l'ozone très dilué ; les bandes étroites furent photographiées jusqu'à 2700 Å quand l'épaisseur de gaz traversée n'était que de 1 cm. et la concentration en ozone estimée inférieure à 1 %. Par l'accroissement de la longueur de gaz traversée, la large bande d'absorption s'étendait davantage vers le visible, et masquait les raies de plus courte longueur d'onde, tandis qu'apparaissaient de nouvelles raies à la limite vers le rouge. Les auteurs anglais sont d'avis que ces bandes étroites existent sur toute l'étendue de la large bande bien que leur visibilité deviennent très faible à λ 2700.

Remarquons que le mélange gazeux de Fowler et Strutt n'était soumis à aucune purification particulière ; l'oxygène pris d'une bombonne, traversait un laveur à acide sulfurique, l'ozonisateur et puis le tube d'épaisseur ou de longueur variables entre le spectrographe et la source lumineuse. D'autre part, WARBURG et LEITHAUSER (4) démontrent que l'ozone de Ladenburg et Lehmann devait contenir de petites quantités de N_2O_5 se

(1) HARTLEY, *Journ. Chem. Soc.*, **39**, 57 (1881).
(2) LADENBURG et LEHMANN, *Ann. d. Physik*, **21**, 305 (1906).
(3) FOWLER and STRUTT, *Proc. Royal Soc.*, **93**, 577 (1916-17).
(4) WARBURG et LEITHAUSER, *Ann. d. Phys.*, **23**, 221 (1907).

manifestant par la bande d'absorption rigoureusement caractéristique dans l'infra-rouge vers $\lambda = 6\ \mu$.

J. Stark [5] signale également pour l'ozone quelques raies d'absorption de λ 314,5 à 271,0 $\mu\mu$.

Dans nos déterminations, nous nous sommes tenus aux règles suivantes :

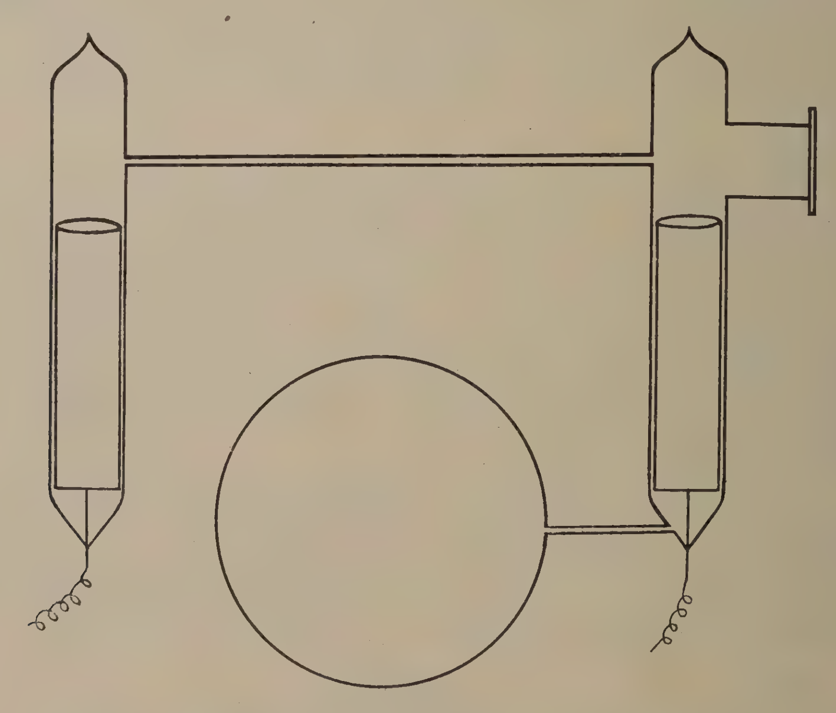
1° Opérer avec des gaz bien purifiés ;

2° Faire varier dans de larges limites le nombre de molécules d'ozone interposées ;

3° Exécuter les expériences dans des conditions parfaitement comparables, de façon à déterminer sans ambiguïté la relation entre le spectre d'absorption et la concentration, seule variable.

Le technique expérimentale

L'appareil pour la préparation des gaz et la mesure des pressions était complètement en verre soudé et construit suivant la technique d'un précédent travail [6]. L'oxygène produit par calcination du permanganate de potasse traversait des laveurs à acide sulfurique, des tubes à pastilles de potasse et à anhydride phosphorique. A la sortie de l'effluveur le mélange gazeux était condensé dans de l'air liquide et soumis à la distillation fractionnée.



[5] J. Stark, *Ann. d. Phys.*, **43**, 321 (1914).
[6] Voyez A. Pinkus et R. Ruyssen, *Bull. Soc. Chim. Belg.* **37**, 304 (1928).

Pour les fortes concentrations, le gaz passait directement au tube pour spectre d'absorption et le ballon de mesure pour doser l'ozone. Pour les faibles concentrations, le gaz passait d'abord dans un ballon réservoir où il était dilué à volonté avec de l'oxygène pur

Les mesures de pressions étaient faites à l'aide de manomètres-tampons à acide sulfurique et d'un manomètre-baromètre à mercure.

Les tubes à permanganate, le ballon pour dosage et le tube d'absorption étaient en pyrex et raccordés à l'aide de longs rodages graissés et conservant parfaitement un vide élevé. Avant la mise en marche, l'appareil était complètement débarrassé de toute trace d'air par des rinçages répétés et en faisant le vide à un dixième de millimètre pendant plusieurs heures à l'aide d'une pompe de Gaede. Le dosage de l'ozone était effectué dans le ballon de mesure, à l'aide d'une solution tampon d'iodure de potasse [7].

Pour toutes nos photographies, nous nous sommes servis d'un même tube en pyrex d'une longueur de 193 mm. et d'un diamètre intérieur de 19 mm. Aux deux extrémités parfaitement rodées planes du tube étaient cimentées des lamelles de quartz transparent à l'aide de silicate de soude, et l'étanchéité parfaite était assurée en coulant tout autour une mince couche de mastic de Kotchinsky.

Pour toutes les expériences, le remplissage du tube se faisait à une même pression de 611,4 mm.

En vue d'obtenir un spectre d'absorption aussi pur que possible, s'étendant loin dans l'ultra-violet, nous avons réalisé comme source lumineuse un tube à décharge à hydrogène du modèle décrit par Bay et Steiner [8].

Cet appareil en verre pyrex (voir figure), est constitué par deux tubes de 48 mm. de diamètre contenant les électrodes cylindriques en aluminium. Ils communiquent par un tube central de 8 mm. de diamètre à travers lequel passe la décharge. La lumière sort par un orifice latéral auquel est mastiqué une lame de quartz à l'aide du ciment de Kotchinsky. Un ballon de un litre soudé à l'appareil, fait office de réservoir. A l'aide de fils de platine soudés dans le pyrex, les électrodes sont raccordées aux bornes secondaires d'un transformateur. Celui-ci débitait au secondaire sous une tension de 5000 volts un courant d'environ 100 milliampères. Dans ces conditions, l'intensité lumineuse est fonction linéaire du courant électrique qui traverse les électrodes, il suffisait de contrôler celui-ci au primaire à l'aide d'un ampèremètre de précision ou au besoin de le rectifier à l'aide d'un rhéostat, pour disposer d'une source lumineuse parfaitement constante pendant un espace de temps fort long. L'on fait passer la décharge dans le vide pendant plusieurs heures de façon à dégager les gaz adsorbés par les électrodes et le verre ; l'appareil est rincé plusieurs fois avec de l'hydrogène en faisant le vide et rempli finalement de ce gaz sous une pression de 1 à 2 mm. de mercure.

[7] Voyez Juliard et Silberschatz, *Bull. Soc. Ch. Belg.*, **6**, 205 (1928).
[8] Bay et Steiner, *Zeitschr. f. Elektroch.*, **34**, 657 (1928).

Cette source lumineuse, d'un réglage facile, présente le grand avantage de fournir un spectre continu très pur et parfaitement gradué à travers tout l'ultra-violet.

*
* *

Notre appareil de mesure était un spectrographe Hilger modèle E. 37 à équipage en quartz et d'un pouvoir dispersif de 43 Å par millimètre à la longueur d'onde de 2900. Fowler et Strutt déclarent n'avoir pu obtenir une précision plus grande à l'aide d'un appareil plus dispersif, vu le manque de netteté des bandes.

Après dosage de l'ozone, le tube optique rempli à la pression voulue, était placé entre la source lumineuse et le spectrographe en interposant une lentille condensatrice, Avec des durées de pose semblables, lues au chronomètre, l'on prenait des photographies successives du spectre de l'ozone et de la source lumineuse, seule ou avec interposition du même tube rempli d'oxygène pur. Nous avons d'ailleurs contrôlé que le passage de la lumière par le tube rempli d'oxygène n'avait aucune influence sur le spectre de la source lumineuse dans la région qui nous intéressait.

Résultats

Les concentrations en ozone ont varié de 0,14 % à 22,5 %. Avec une longueur de gaz de 18,3 cm. sous une pression de 611,4 mm. nous n'avons pas pu constater l'apparition de raies à la limite de la grande bande d'absorption avec de l'ozone d'une concentration inférieure à 6,5 %. Pour cette concentration, nous voyons apparaître à la limite deux bandes étroites, d'une visibilité très faible à une λ de 3071 à 3081 Å et une raie plus faible encore à 3137. Ces bandes avaient d'ailleurs complètement disparu après quatre jours, la concentration en ozone étant fortement baissée par suite de la décomposition spontanée.

Les bandes apparaissent nettement aux fortes concentrations (16,1 % ; 17,3 % ; 22,5 %) et les mêmes bandes se retrouvent d'ailleurs dans les trois spectres. Au total, nous avons pu en déceler neuf avec certitude, dont la position fut mesurée par la méthode micrométrique. Ces bandes présentaient une épaisseur de quelques Angströms et dans la table nous les avons désignées par le milieu de la bande :

3136 ; 3152 ; 3168 ; 3177 ; 3195 ; 3215 ; 3225 ; 3254 ; 3301 ;

Ces longueurs d'onde coïncident d'ailleurs assez bien avec celles renseignées par Fowler et Strutt pour les grandes longueurs de gaz traversées.

Il ne nous est actuellement pas encore possible de fournir une explication des contradictions entre les résultats de Fowler et Strutt et les nôtres. Nous nous proposons d'ailleurs d'étudier le spectre de concentrations en ozone encore plus fortes et avec des appareils de mesure plus perfectionnés. Désireux de collaborer à la bonne réussite de ce Congrès national, nous avons tenu à exposer ici nos premiers résultats dans cette voie.

Ces travaux ont été entrepris dans le laboratoire de M. le Prof. Goubau et je saisis l'occasion pour le remercier de l'intérêt qu'il a bien voulu y porter et des précieux conseils qu'il m'a prodigués.

SUR LES CAUSES PHYSIQUES POUVANT EXPLIQUER LA COMPLEXITÉ OBSERVÉE DANS LES TERMES DES SPECTRES DE RÉSONANCE DES VAPEURS

par P. SWINGS,

Assistant à l'Université de Liége (Institut d'Astrophysique)

Supposons qu'on envoie une radiation monochromatique sur une vapeur diatomique et que la fréquence de cette radiation coïncide avec la fréquence d'une des raies d'absorption de la vapeur. Si l'on se trouve dans des conditions physiques convenables, certaines molécules passeront d'un état (1) ($\overline{E}_e$, $\overline{p}$, $\overline{m}$) à un état excité (E'_e, p' m'). Si alors n'intervient pas de cause de désactivation par choc (choc de seconde espèce ou transfert d'activation), les molécules d'état (E'_e, p', m') reviendront à un état électronique inférieur E_e et aux différents états de vibration et de rotation possibles correspondant au niveau électronique E_e. On peut démontrer assez aisément en partant de la mécanique ondulatoire que la lumière émise consiste en une série de doublets (doublets de rotation), dont la formule est

$$\nu = \nu_0 - \left(p + \frac{1}{2}\right) \nu_k \left[1 - \left(p + \frac{1}{2}\right) x\right] - (m' \pm 1)(m' \pm 1 + 1) B_0 \left[1 - \alpha \left(p + \frac{1}{2}\right)\right] \qquad (1)$$

Dans cette formule, les symboles ont la signification suivante :

ν_0 = constante ;
p = nombre quantique de vibration de la molécule à l'état final (seule quantité variable dans la formule) ;
ν_k = fréquence fondamentale de l'oscillateur ;
x = facteur d'anharmonicité ;
m' = nombre quantique de rotation de la molécule excitée ;
B_0 et α = constantes (α = Wechselwirkungsglied) liées par

$$B_0 \left[1 - \alpha\left(p + \frac{1}{2}\right)\right] = \frac{h}{8 \pi^2 J}$$

J étant le moment d'inertie dans l'état (E_e, p).

(1) E_e = énergie électronique ; p = nombre quantique de vibration ; m = nombre quantique de rotation de l'ensemble de la molécule.

A chaque valeur de p, correspondent deux valeurs de ν correspondant aux deux signes + ou aux deux signes − (doublet de rotation). On trouve immédiatement que l'écartement des composantes de ces doublets est

$$\Delta \nu_r = \left(m' + \frac{1}{2}\right) \frac{h}{2 \pi^2 J} = 4 \left(m' + \frac{1}{2}\right) B_0 \left[1 - \alpha \left(p + \frac{1}{2}\right)\right],$$

Wood qui, le premier, a observé en éclairant monochromatiquement de la vapeur d'iode ou de sodium, des séries de doublets, telles que (1), a appelé ces séries, spectres de résonance des molécules.

* * *

Wood observant à grande dispersion, le spectre de résonance de I_2 excité par un arc à mercure chaud, remarqua qu'au lieu d'obtenir une série de doublets, on obtenait une série de termes complexes. Cela était dû vraisemblablement à la largeur de la raie excitatrice, qui, recouvrant plusieurs raies d'absorption, pouvait exciter des molécules d'états initiaux $\overline{p}$ et $\overline{m}$ différents. On est néanmoins parvenu par l'examen approfondi des paraboles de Fortrat de I_2, à classer les différentes séries de doublets excitées et à fixer la position des portions de la raie excitatrice dans le schéma des niveaux [2].

Pour les autres molécules diatomiques homopolaires dans lesquelles on avait pu exciter des séries de résonance (Te_2: Rakowicz-Pogorzelska, Rosen, Kessel ; Se_2 : Ehrenfeucht, Rosen, Kessel, Schmidt, Grünbaum ; S_2 : Rosen, Swings, Genard), la faiblesse de la fluorescence rendait difficile l'étude à grande dispersion, par les procédés habituels d'illumination. Mais au moyen d'appareillages spéciaux, Kessel (pour Te_2) et l'auteur (pour S_2) ont néanmoins réussi à faire l'étude du spectre de résonance à grande dispersion [3].

La complexité trouvée en particulier pour les termes des séries de résonance de S_2 est très grande et elle semble assez différente de celle trouvée par Wood dans I_2. Remarquons d'ailleurs que, dans l'arc à mercure utilisé par l'auteur, les électrodes étaient constamment refroidies par un fort courant d'eau, ce qui assurait une tension de vapeur assez faible dans la lampe et une finesse relative des raies.

Nous allons examiner quelques-unes des causes physiques qui pourraient expliquer cette complexité. L'étude expérimentale correspondante est en cours.

I. — *La raie excitatrice recouvre plusieurs raies d'absorption.*

C'était l'explication qu'avait donnée Wood pour les multiplets obser-

(2) Voir par exemple Pringsheim, *Fluorescenz und Phosphorescenz*, 3te Aufl., 47 et suiv. (1928).

(3) Kessel, *C. R.*, Paris, **189**, 94 (1929) et *C. R. de la Soc. Pol. de Phys.*, **4**, 183 (1929). — P. Swings, *Bull. Ac. Pol. des Sc.*, 616 (1929) ; *Zeits. für Ph.*, **61**, 681 (1930).

vés dans la vapeur d'iode. Cependant, pour le tellure et le soufre ([4]), il semblait difficile d'expliquer de cette façon, la multiplicité des termes.

II. — *La molécule possède plusieurs moments d'inertie principaux.*

Si on désigne par J_1 et J_2 les deux moments d'inertie correspondant aux deux axes de rotation situés dans le plan perpendiculaire à la ligne des noyaux, l'énergie cinétique possède dans l'ancienne théorie des quanta, au lieu de la valeur

$$\frac{h^2 m^2}{8 \pi^2 J}$$

la valeur

$$\frac{h^2}{8 \pi^2}\left[\frac{(m_1 + m_2)^2 - m_3^2}{J_1} + \frac{m_3^2}{J_2}\right]$$

m_1, m_2 et m_3 étant des nombres entiers.

Une complication analogue existe dans la nouvelle théorie des quanta; cela se répercuterait évidemment, dans le spectre de résonance, par une multiplicité plus grande des raies de rotation.

III. — *Influence des isotopes.*

Les recherches des isotopes au moyen des spectres de bandes ont été activement poussées pendant ces dernières années ; les spectres de bandes se sont révélés le complément extrêmement utile du spectrographe de masses d'Aston. Nous ne parlerons ici que de l'influence sur les termes de rotation ([5]).

Considérons des molécules composées d'atomes M_1 et M_2 et supposons que M_2 ait deux isotopes de masses M'_2 et $M'_2 + \Delta M_2$. Considérons deux sortes de molécules (M_1, M'_2) et $(M_1, M'_2 + \Delta M_2)$. Il est évident que les moments d'inertie de ces molécules pourront différer; on aura ainsi des valeurs différentes pour les espacements des doublets de rotations ; d'où cause de complexité.

Il est possible que cette cause intervienne dans S_2 : Aston a, en effet, trouvé pour les isotopes du soufre ([6]) : S 32 (97 %) S 33 (0,75 %) et S 34 (2,25 %). Il en est de même dans le cas du tellure (p. at. 127,5; isotopes : 128-130-126) et du sélénium (p. at. 79,2 ; isotopes : 80-78-76-82-77-74).

IV. — *Exception au principe de sélection* $(m' - m = \pm 1)$.

Si aux vapeurs d'iode, on ajoute de l'hélium, le spectre de résonance s'affaiblit et il y apparaît des bandes ; déjà pour une pression de 10 mm. d'He, il ne reste plus que les bandes. On explique cette évolution par le

([4]) L'auteur poursuit actuellement, l'étude expérimentale ; celle-ci exige en même temps l'étude à très grande dispersion, du spectre d'absorption.

([5]) L'influence sur les bandes de vibration a été spécialement illustrée dans le spectre infra-rouge de HCl, où on a retrouvé les raies de HCl_{35} et HCl_{37}.

([6]) Aston, *Proc. Roy. Soc.*, **115**, 504 (1927).

fait que, dans les collisions de la molécule I_2 avec les atomes He, le principe de sélection n'est plus valide pour l'énergie de rotation, de sorte que l'on peut avoir

$$m' - m = \pm 2, \pm 3, \ldots$$

L'adjonction d'autres gaz (air, gaz carbonique,...) ou vapeurs (éther,...) l'iode elle-même (en travaillant à saturation à plus haute température) agissent d'une façon analogue.

D'autre part, Heurlinger (7) a montré que si les noyaux ne sont pas reliés par des forces suffisamment élastiques, les passages $m' - m = \pm 2 \pm 3, \ldots$ ne sont pas absolument interdits dans le spectre de rotation, mais sont simplement moins probables.

Examinons en détails ce que pourrait produire une exception au principe de sélection. Trois cas sont à examiner :

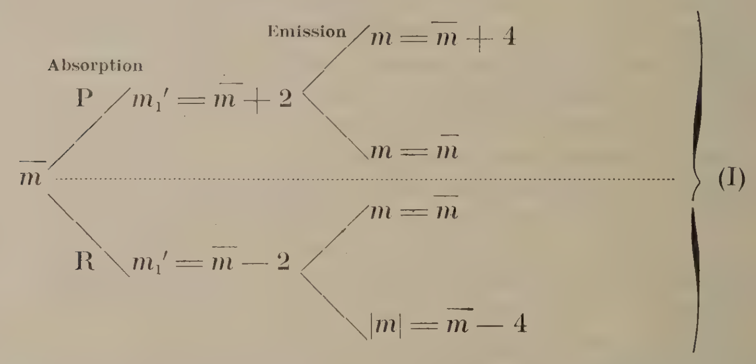
1° L'absorption et l'émission subséquente présentent toutes deux une exception au principe de sélection ;

2° Il y a seulement exception pour l'absorption ;

3° Il y a seulement exception pour l'émission.

Bornons-nous aussi au cas où le nombre quantique de rotation varie — exceptionnellement — de deux unités.

Premier cas. — On a le schéma suivant



Il y a toujours émission de la raie d'absorption correspondant à la raie excitatrice. Le doublet a l'écartement.

$$8\,B\left(m'_1 + \frac{1}{2}\right)$$

Il est impossible de trouver un doublet « normal » de même $\Delta\nu$; celui qui s'en rapproche le plus correspond à $m' = 2\,m'_1$ et vaut

$$4\,B\left(2\,m_1' + \frac{1}{2}\right)$$

Si ces deux doublets tombent du même côté de la raie excitatrice, il y a entre les composantes extrêmes, une distance

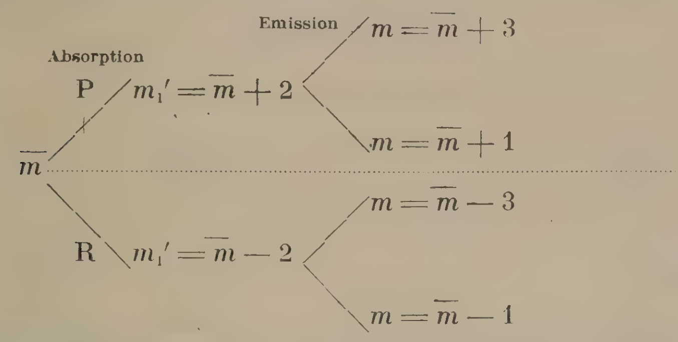
(7) Heurlinger, *Zeits. für Ph.*, **1**, 82-91 (1920).

$$2\,B = \frac{h}{4\,\pi^2\,J} = \frac{55{,}4}{i}\,\text{cm}^{-1}$$

si on pose

$$J = i\,.\,10^{-40}\ \text{c. g. s}$$

Deuxième cas. — On a le schéma



Il n'y a jamais émission de la raie d'absorption, coïncidant avec la raie excitatrice. Il faut déterminer les écartements par rapport à la raie excitatrice ; on trouve très aisément

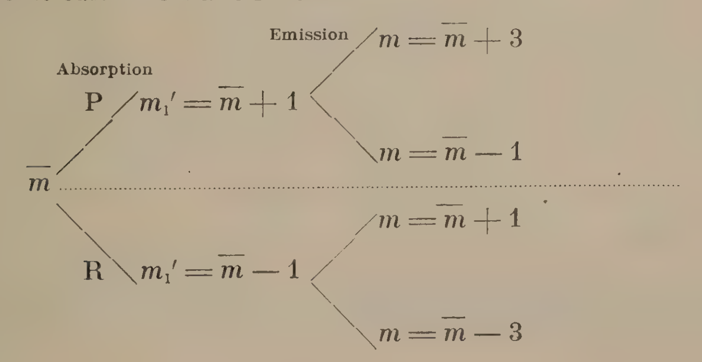
$$\left.\begin{aligned} &\text{pour } \overline{m} \longrightarrow \overline{m} + 2 \begin{cases} 6\,B\,(\overline{m} + 2) \equiv 6\,B\,m'_1 \\ 2\,B\,(\overline{m} + 1) \equiv 2\,B\,m_1' - 2\,B \end{cases} \\ &\text{pour } \overline{m} \longrightarrow \overline{m} - 2 \begin{cases} -\,6\,B\,(\overline{m} - 1) \equiv -(6\,B m_1' + 6\,B) \\ -\,2\,B\,\overline{m} \equiv -\,(2\,B\,m_1' + 4\,B) \end{cases} \end{aligned}\right\} \text{(II)}$$

Les deux composantes émises tomberont toujours du même côté de la raie excitatrice ; elles apparaîtront vers les grandes longueurs d'onde ou vers les courtes, suivant qu'on aura la branche P ou la branche R.

Les raies « anormales » (II) pourront parfois coïncider avec les composantes extrêmes de doublets « normaux ». Ainsi si m'_1 est impair, la raie d'écartement $6\,B\,m'_1$ coïncide avec la raie extrême d'un doublet normal

$$m' = \frac{3}{2}\,m_1' + \frac{1}{2}$$

Troisième cas. — On a le schéma



Comme dans le second cas, il n'y a jamais émission de la raie d'absorption coïncidant avec la raie excitatrice. Les distances par rapport à la raie excitatrice sont maintenant

$$\left.\begin{array}{l} \text{Branche P.}\begin{cases} -2\,B\,\overline{m} = -(2\,B\,m_1' - 2\,B) \\ 6\,B\,(\overline{m}+2) = 6\,B\,m_1' + 6\,B \end{cases} \\ \text{Branche R.}\begin{cases} 2\,B\,(\overline{m}+1) = 2\,B\,m_1' + 4\,B \\ -6\,B\,(\overline{m}-1) = -6\,B\,m_1' \end{cases} \end{array}\right\} \text{(III)}$$

Remarquons d'abord qu'une des composantes du doublet tombe toujours d'un côté de la raie excitatrice; l'autre composante, de l'autre côté.

On peut aussi remarquer comme pour le second cas, que les raies anormales (III) peuvent parfois coïncider avec les composantes extrêmes de doublets normaux.

En résumé. — Dans tous les cas, si on cherche une valeur de m' telle que les raies normales de rotation correspondantes soient les plus voisines des raies I, II ou III, il y aura toujours une différence de fréquences O ou 2 B.

Considérons le voisinage de la raie excitatrice et examinons deux doublets de rotation, de nombres quantiques m' successifs et correspondant à une même branche du spectre d'absorption; une de leurs composantes sera confondue avec la raie excitatrice. Si à mi-distance entre les deux autres composantes de ces doublets, on trouve une raie faible [8], on sera en droit de l'attribuer à une exception au principe de sélection.

---

[8] Cette raie est nécessairement faible, la résonance étant toujours étudiée à des pressions assez basses (chocs rares).

SUR UN POINT RELATIF À LA PROPAGATION ET À L'ATTÉNUATION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES COURTES DANS LA HAUTE ATMOSPHÈRE

par C. MANNEBACK,

Professeur à l'Université de Louvain

1. *Généralités.* — Le problème de la propagation et de l'atténuation des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère consiste en principe à résoudre les équations de Maxwell pour un milieu non homogène, c'est-à-dire dont la constante diélectrique et la conductibilité sont variables. On pourra admettre que cette variabilité ne dépend que de la hauteur au-dessus du sol.

Ce n'est guère la composition chimique ou la densité de l'atmosphère, précisément variables avec la hauteur, qui importent. En effet, les variations de la constante diélectrique des gaz permanents et non ionisés qui constituent l'atmosphère sont absolument négligeables et la présence de vapeur d'eau n'a qu'une influence tout à fait secondaire et cela au voisinage du sol seulement (1).

Il n'en est plus de même dans la haute atmosphère, c'est-à-dire à partir de 50 à 75 kilomètres de hauteur, où sous l'influence de la lumière ultra-violette du soleil principalement, il existe déjà plusieurs ions gazeux positifs et électrons négatifs par centimètre cube. La teneur en ions croît assez rapidement avec la hauteur, suivant une loi probablement parabolique ; on l'estime à environ 3 à 4.10^3 par cc. vers 200 kilomètres (2). Au delà, l'ionisation semble encore croître jusqu'à une ou plusieurs valeurs maxima, vraisemblablement avec un gradient plus faible.

La présence d'électrons libres dans l'atmosphère en densité croissante avec la hauteur a pour effet de faire tomber la constante diélectrique en dessous de l'unité, ce qui entraîne la réfraction vers le bas des ondes provenant de la surface du sol et, d'autre part, par la conductivité due aux charges libres, une dissipation d'énergie par effet Joule, c'est-à-dire une atténuation des ondes.

On trouve pour la constante diélectrique de l'air ionisé (3)

(1) La constante diélectrique de l'air sec, sous les conditions normales, ne dépasse l'unité que de six dix-millièmes.

(2) J. C. Schelleng, *Proc. Inst. Radio Eng.*, **16**, 1471 (1928).

(3) R. Mesny, *Les ondes électriques courtes*, Paris, 25 et suiv. (1927).

$$\varepsilon = 1 - \frac{Ne^2}{\pi m \nu^2}$$

$m = 0{,}9 \,.\, 10^{-27}$ gr., masse de l'électron.

$e = 4{,}77 \,.\, 10^{-10}$ u. a. s., charge de l'électron.

L'abaissement est donc proportionnel à la concentration N en électrons libres et inversement proportionnel au carré de la fréquence ν. Pour chaque fréquence, il existe une couche critique de concentration déterminée, au delà de laquelle la constante diélectrique devient négative, ce qui signifie simplement que la propagation d'ondes progressives non amorties devient impossible.

L'accroissement de l'ionisation en hauteur jusqu'à une valeur limite maximum permet de donner une explication satisfaisante des « zones de silence » pour les ondes très courtes (moins de 100 mètres) et explique aussi pourquoi les ondes en dessous d'une dizaine de mètres ne reviennent plus à la surface du sol.

La théorie précédente n'est qu'approchée, car elle néglige deux facteurs, l'action du champ magnétique terrestre et l'absorption due aux chocs des électrons libres sur les molécules neutres de l'atmosphère. Le premier facteur produit une rotation du plan de polarisation des ondes et n'a plus d'influence sérieuse pour les ondes courtes de moins de 50 mètres auxquelles nous nous limiterons dans la suite. Quant au second, il n'entre en ligne de compte que lorsque la fréquence des chocs des électrons libres avec les molécules neutres devient comparable à la fréquence de l'onde. (Mesny, *loc. cit.*) Dans ce cas, la constante diélectrique ε devient fonction du rapport de ces deux fréquences et il en est de même pour la conductivité γ du milieu ([4]).

La fréquence des chocs dépend de deux facteurs indépendants l'un de l'autre, l'intensité de l'ionisation et la densité des molécules neutres, grandeurs dont la variation en fonction de la hauteur est encore assez mal connue

Il semble donc bien que l'on ait peu de résultats généraux à attendre à présent de l'étude de la propagation des ondes électriques ([5]) en partant des équations générales de Maxwell, à cause précisément de l'incertitude qui pèse sur les constantes de propagation ε et γ du milieu en fonction de la hauteur.

2. *Rayons électriques et optique géométrique. Influence de l'absorption sur la trajectoire des rayons.* — Les problèmes de propagation se simplifient fortement s'il est permis de les traiter comme des questions d'optique géométrique. On sait ce qu'il faut entendre par là. Supposons un milieu isotrope, permanent et non homogène, c'est-à-dire dont l'indice de

([4]) Salpeter, *Jahrbuch draht. Teleg.*, **8**, 247 (1913). — *Physik. Zeitsch.*, **14**, 201 (1913).

([5]) V. par exemple K. Försterling, *Elekt. Nachr. Technik*, **5**, 530, (1928).

réfraction n est indépendant de la direction et du temps, mais varie continûment dans l'espace. On peut toujours définir des *surfaces d'onde* sur lesquelles la phase de la grandeur périodique considérée, de fréquence ν, est constante à un instant quelconque. On peut toujours aussi définir les *rayons* comme trajectoires orthogonales aux surfaces d'onde. Ces définitions n'ont toutefois un intérêt véritable que si la construction classique d'Huygens permettant de passer immédiatement d'une surface d'onde à la surface voisine est valide, car, alors seulement, on peut dire que les surfaces d'onde ou de phase constante voyagent le long des rayons à la vitesse $\frac{c}{n}$, où c représente la vitesse dans le vide. C'est par définition le cas de l'optique géométrique.

Pour que l'optique géométrique représente une approximation satisfaisante de l'optique ondulatoire ([6]), il faut que les surfaces d'ondes soient quasi-planes à l'échelle de la longueur d'onde. Ceci impose que les variations de l'indice n soient faibles à l'échelle de la longueur d'onde et de plus que l'amplitude de l'onde varie lentement à cette échelle. Cette dernière condition découle de la première, pourvu que l'on considère des régions assez éloignées des sources ou d'obstacles modifiant la libre propagation des ondes (diffraction).

Lorsque les conditions de validité de l'optique géométrique ne sont pas réalisées, la vitesse de phase n'a plus la valeur simple $\frac{c}{n}$ et sa recherche équivaut à résoudre le problème entier de l'optique ondulatoire. De plus, en dehors du domaine de l'optique géométrique la définition du rayon donnée plus haut ne concorde plus avec celle de Poynting, rayon dirigé suivant la trajectoire du flux d'énergie perpendiculaire au plan des champs électrique et magnétique de l'onde. La notion de rayon n'intervient donc utilement qu'en optique géométrique.

Le milieu de propagation a été jusqu'ici supposé transparent. On peut se demander jusqu'à quel point les conclusions précédentes sont modifiées dans le cas d'un milieu absorbant. On s'attendrait à ce que l'optique géométrique et les notions de rayon et de vitesse de phase qui en dépendent, subsistent tant que la variation de l'absorption du milieu reste faible à l'échelle de la longueur d'onde. A la suite de certaines remarques qui ont été faites à ce sujet ([7]), il ne paraît cependant pas inutile d'insister encore sur ce dernier point

L'équation de propagation de l'optique ondulatoire dans un milieu absorbant est

$$\left(\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$$

$$\Delta\psi = 4\pi\gamma\mu\frac{\partial\psi}{\partial t} + \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial\psi^2}{\partial t^2} \qquad (1)$$

([6]) L. de Broglie, *Introduction à l'étude de la mécanique ondulatoire*, Paris (1930), chap. IV.

([7]) P. S. Epstein, *Geometrical Optics in absorbing Media*; *Proc. Nat. Ac. Sc.*, **16**, 37 (1930).

où Ψ désigne une composante quelconque de l'un des champs et ε (unités e. s.), γ (unités e. m.) et c ont la signification définie plus haut.

La perméabilité magnétique μ est prise égale à l'unité. Dans le cas d'une absorption négligeable ($\gamma=0$), l'indice se réduit à

$$n_0 = \sqrt{\varepsilon} \tag{2}$$

Posons, les phénomènes étant périodiques,

$$\Psi = e^{ikct} . u(x\,y\,z) \tag{3}$$

où

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}$$

représente la longueur d'onde dans le vide ($\varepsilon=1$).

Posons encore

$$u = \mathrm{A}\,(xyz)\,e^{-ik\mathrm{S}(xyz)} \tag{3'}$$

où A et $k\,(ct-\mathrm{S})$ désignent respectivement l'amplitude et la phase. On trouve immédiatement pour A et S le système d'équations entièrement équivalent à (1)

$$\left.\begin{aligned} (\nabla \mathrm{S})^2 - \frac{1}{k^2}\frac{\nabla \mathrm{A}}{\mathrm{A}} &= \varepsilon \\ \Delta \mathrm{S} + \frac{2}{\mathrm{A}}(\nabla \mathrm{A}, \nabla \mathrm{S}) &= -4\pi c \gamma \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

où ∇ S désigne le gradient de S, c'est-à-dire le vecteur de composantes

$$\frac{\partial \mathrm{S}}{\partial x}, \frac{\partial \mathrm{S}}{\partial y}, \frac{\partial \mathrm{S}}{\partial z}$$

et $(\nabla \mathrm{A}, \nabla \mathrm{S})$ le produit scalaire de grad. S. et grad. A.

Lorsque le terme $\frac{\Delta \mathrm{A}}{k^2 \mathrm{A}}$ est négligeable par rapport à la constante diélectrique ε, (inférieure à l'unité, mais restant positive pour les ondes courtes dont la longueur d'onde est inférieure à 50 mètres environ), on retrouve précisément l'approximation de l'optique géométrique, ce qui justifie ce qui a été dit plus haut.

En effet, le système (4) se résout alors simplement :

$$\left.\begin{aligned} \nabla \mathrm{S} &= \varepsilon \\ q\,\mathrm{A}^2 &= q_0\,\mathrm{A}_0^2 . \exp\left(-4\pi c \int_0^s \gamma/\sqrt{\varepsilon}\right) ds) \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

La première relation équivaut à la construction d'Huygens ; c'est aussi l'équation de l' « iconal ». La seconde exprime la loi d'atténuation de l'intensité $q\,\mathrm{A}^2$ le long d'un rayon de longueur totale s, à travers un « tube de rayons » de section variable q (q_0, section initiale du tube).

Dans le cas des ondes radiotélégraphiques se propageant librement

dans la haute atmosphère, on peut toujours considérer les surfaces d'ondes comme quasi-planes à l'échelle de la longueur d'onde, à cause de la grande distance à laquelle on se trouve des émetteurs et de tout obstacle. La seule cause de variation rapide de l'amplitude A à l'échelle de la longueur d'onde qui pourrait subsister (dans le cas où $\varepsilon > 0$) serait l'atténuation par absorption. On peut donc écrire dans un domaine de quelques longueurs d'ondes

$$A = Ge^{-2\pi\varkappa s} \tag{6}$$

c et $\varkappa$ étant des constantes positives et s le chemin parcouru le long du rayon, compté positivement dans le sens de la propagation.

On a ainsi comme condition de validité de l'optique géométrique dans un milieu absorbant que

$$\frac{1}{k^2}\frac{\Delta A}{A} = \lambda^2 \varkappa^2$$

soit négligeable par rapport à la constante diélectrique ε du milieu, ce qui, d'après (6), revient à dire que l'atténuation relative de l'amplitude A doit rester très faible sur un parcours d'une longueur d'onde. Il doit bien en être ainsi pour les ondes courtes, dont le parcours total contient plusieurs milliers de longueurs d'ondes, car sinon la loi d'absorption exponentielle réduirait l'amplitude des ondes à la réception à des valeurs indécelables.

En résumé, les lois de l'optique géométrique, en particulier la notion de rayon, restent applicables à la propagation des ondes radio-électriques malgré l'absorption inconnue en grandeur qui existe dans l'atmosphère, pourvu que la constante diélectrique le long du rayon ne s'approche pas trop de zéro; c'est pratiquement toujours le cas pour les ondes courtes de moins de 50 mètres. De plus, la seconde relation (5) relie l'absorption d'énergie le long d'un rayon aux constantes ε et γ du milieu.

La première relation (5) qui définit la propagation des surfaces d'onde n'est autre que l'équation aux dérivées partielles du premier ordre de Hamilton-Jacobi, fondamentale en mécanique. *A tout problème d'optique géométrique correspond ainsi un problème de mécanique du point* : la constante diélectrique ε, positive, joue le rôle de la différence entre l'énergie totale, constante, et l'énergie potentielle ; le gradient de S, celui de la quantité de mouvement, à un facteur près. Cette assimilation donne lieu à des rapprochements intéressants entre la propagation des ondes dans des milieux où la constante diélectrique varie en fonction de la hauteur suivant des lois simples et des problèmes classiques de mécanique. Nous ne montrerons pas ici comment, très rapidement, on retrouverait ainsi plusieurs résultats relatifs à la propagation des ondes courtes : signalons toutefois que l'on prouve l'existence de plusieurs rayons aboutissant au même point, fait expérimentalement signalé à plusieurs reprises [8].

---

[8] H. Friis, *Proc. Inst. Radio Eng.*, **16**, 658 (1928).

SUR UNE RELATION UNIVERSELLE ENTRE L'ÉNERGIE ET LE TEMPS

par P. DRUMAUX,

Professeur à l'Université de Gand

La relation susdite sera déduite d'un principe que nous avons formulé antérieurement et que nous allons rappeler brièvement.

Remarquons d'abord que :

1° La physique fait appel à certaines notions primordiales sans lesquelles elle ne pourrait poser les définitions scientifiques des diverses grandeurs physiques ;

2° Ces notions sont celles d'espace, de temps, de mouvement et de substance qu'il n'est pas possible de ramener à d'autres plus élémentaires ;

3° Si l'on essaye de définir l'une quelconque de ces quatre notions, on ne peut éviter de parler des trois autres ;

4° La définition scientifique de ces notions est un problème sans fin qui se confond avec toute la physique.

Ces remarques faites, le principe en question consiste à dire que ces quatre notions sont inséparables l'une de l'autre ([1]).

Rappelons en quelques mots la démonstration de cette proposition.

Elle s'appuie sur les trois observations suivantes :

1° La physique est basée sur des mesures ;

2° Dans les mesures, les ultimes constatations expérimentales portent sur des points-événements (Einstein) ;

3° Le point-événement est la réduction à zéro des quatre notions en question.

De là les conséquences suivantes :

1° Le point-événement consistant dans la réduction à zéro des notions susdites ne peut comporter aucune séparation entre ces notions ;

2° Il en est donc de même des déductions tirées des points-événements, c'est-à-dire des lois de la physique.

Les notions en question sont donc inséparables, ce qui démontre notre proposition.

L'intérêt de celle-ci réside dans la possibilité d'en tirer des déductions quantitatives, notamment divers principes de la physique à savoir :

1° La constance de la vitesse de la lumière ;

([1]) P. DRUMAUX, *L'évidence de la théorie d'Einstein ;* Paris, Hermann (1923).

2° L'équivalence d'un champ gravifique et d'un champ d'accélération ;

3° La relation de Planck : $\varepsilon = h\nu$.

Nous nous occuperons d'abord de cette troisième déduction, ayant déjà antérieurement traité des deux précédentes.

Il suffit pour cela d'invoquer l'inséparabilité de deux des quatre notions en question à savoir la substance et le mouvement, ce qui sera fait de la manière suivante :

Nous allons rechercher quelle est en physique l'entité scientifique qui correspond à la notion de substance. Soit X cette entité.

Cela fait, nous rechercherons quelle est la grandeur physique qui constitue la mesure quantitative de X. Soit x le nombre exprimant cette grandeur.

Faisons de même pour la notion de mouvement et soit Y l'entité physique correspondante et soit y le nombre exprimant sa mesure. Nous avons ainsi en apparence réussi à effectuer une séparation entre la substance et le mouvement puisque la substance se trouve être représentée par un nombre x et le mouvement par un nombre y. Or, en vertu de notre proposition, cette séparation doit être illusoire. Par conséquent, les nombres x et y doivent manifester l'impossibilité de la séparation, ce qui se traduira par l'égalité des deux nombres en question.

Le raisonnement peut être résumé en disant que plus on essaye de séparer les notions en question, plus on les trouve unies.

On aura donc :

$$x = y$$

Nous allons voir que cette équation n'est autre que celle de Planck.

Cherchons en effet l'entité physique X correspondant à la notion de substance. Cette entité c'est la masse, car des diverses définitions que l'on peut donner de la masse, la meilleure est de la considérer comme désignant la quantité de substance. Les autres définitions que l'on peut donner de la masse laissent d'autres grandeurs physiques telles que, par exemple, la force sans définition. D'ailleurs, la mesure directe de la masse porte sur la masse dite gravifique. Désignons ensuite par m le nombre exprimant la mesure de la masse, lequel représentera donc le nombre x.

Cherchons de même l'entité Y correspondant à la notion de mouvement. Cette entité c'est celle employée dans la physique et notamment dans la thermodynamique sous le nom de « transformation physique » car elle couvre tous les mouvements dans n'importe quel phénomène ou système physique, c'est-à-dire qu'elle correspond à la notion la plus générale du mouvement.

Recherchons ensuite la grandeur physique correspondant à la mesure d'une « transformation physique ».

Pour cela remarquons en premier lieu que toute mesure physique implique une comparaison entre deux termes dont l'un est le terme à

mesurer et l'autre le terme étalon. La mesure d'une transformation physique exige donc le recours à une transformation étalon.

Remarquons en second lieu que toute mesure physique est une comparaison quantitative. Or, la notion de quantité implique un dénombrement, lequel porte nécessairement sur des répétitions, car il n'y a pas de dénombrement possible sans répétition. Or, une répétition dans une transformation physique c'est un cycle. Donc la comparaison d'une transformation donnée à une transformation étalon portera nécessairement sur le nombre de cycles.

Remarquons en troisième lieu que la transformation étalon doit, en sa qualité d'étalon, être supposée invariable. Or, une telle transformation est réalisée dans ce qu'on appelle une horloge.

De là résulte que la mesure d'une transformation physique ne peut consister que dans la comparaison du nombre de cycles de la transformation donnée et du nombre de cycles d'une horloge, c'est-à-dire dans une mesure de fréquence.

Désignons celle-ci par le nombre ν lequel représentera donc le nombre y.

On aura l'égalité : $m = \nu$.

A cause du caractère arbitraire des unités fondamentales du système C. G. S. on n'aura pas, en fait, une égalité mais simplement une proportionnalité. En désignant par k un coefficient de proportionnalité, on aura donc :

$$m = k\nu$$

où k sera une constante universelle ne dépendant que du choix des unités.

Si maintenant on fait appel au principe de la constance de la vitesse de la lumière et à la relativité restreinte qui en découle on sait qu'une masse m représente une énergie ε donnée par la relation $\varepsilon = mc^2$ où c est la vitesse de la lumière. En remplaçant m on aura :

$$\varepsilon = kc^2\nu$$

En désignant kc^2 par h qui sera une constante universelle au même titre que k et c, il vient :

$$\varepsilon = h\nu$$

c'est-à-dire l'équation de Planck. Elle exprime l'inséparabilité de la substance et du mouvement, et la constante h que dans un système d'unités universelles on serait amené à poser égale à l'unité, représente la liaison entre ces deux notions.

Signalons que le même raisonnement appliqué à l'espace et au temps conduit à l'équation de Minkowski :

$$l = ct$$

exprimant l'inséparabilité de ces deux notions.

Les deux équations ont même origine et même explication et ne sont que deux corollaires d'un seul principe.

Nous allons maintenant déduire de ce même principe, une relation universelle entre la masse et la longueur ainsi qu'une relation entre l'énergie et le temps.

Rappelons pour cela que l'inséparabilité des quatre notions en question entraîne l'inséparabilité de deux quelconques d'entre elles ce qui donne lieu aux six combinaisons figurées au schéma ci-dessous :

E

S —— M

T

où les lettres E, T, S et M symbolisent respectivement les notions d'espace, de temps, de substance et de mouvement et où les six traits qui les unissent figurent les diverses liaisons entre ces notions, prises deux à deux.

La liaison E T correspond à l'équation de Minkowski :

$$l = ct\sqrt{-1}$$

et la liaison S M correspond à l'équation de Planck : $\varepsilon = h\nu$.

De même, l'une quelconque des autres liaisons notamment la liaison S E doit correspondre à une relation universelle.

Pour obtenir cette relation, nous ferons le même raisonnement que pour établir l'équation de Planck.

De même que notre point de départ consistait alors à dire qu'à la mesure de toute substance, c'est-à-dire à toute masse, était physiquement associée une mesure de mouvement, c'est-à-dire une fréquence, nous dirons dans le cas présent qu'à toute masse est physiquement associée une mesure d'espace.

Or, une mesure d'espace se ramène en dernière analyse à une mesure de distance, car toutes les autres grandeurs spatiales telles que la surface, le volume, l'angle, la courbure dérivent de la mesure de distances.

De là résulte qu'à toute masse est associée une longueur, qui, en vertu de notre principe, sera numériquement égale à la masse.

En fait, et uniquement à cause du caractère arbitraire des unités fondamentales du système C. G. S., il n'y aura pas égalité entre la longueur l et la masse m en question mais simplement proportionnalité :

$$l = k\,m$$

le coefficient de proportionnalité k ne dépendant que du choix des unités et étant par conséquent une constante universelle.

Il doit être entendu que l'association entre l et m n'est pas fictive ou théorique mais au contraire réelle et physique c'est-à-dire que la longueur l doit être physiquement mesurable au même titre que la masse m.

Si étrange que cela puisse paraître, les deux grandeurs l et m sont scientifiquement sur le même pied c'est-à-dire que l'une n'est pas moins réelle ou concrète que l'autre.

Arrivons-en maintenant à la détermination du coefficient de proportionnalité k.

Cela revient à déterminer la longueur l appartenant à une masse donnée m.

Essayons de résoudre le problème de la manière suivante :

Comme la longueur cherchée est déterminée par la masse m instituons une expérience très simple où l'intervention de l'expérimentateur est réduite au strict minimum.

Dans ce but, introduisons un corps d'épreuve et remarquons que par le fait même, nous avons ainsi déterminé un premier point-événement correspondant à l'instant où le corps d'épreuve est abandonné à l'influence de la masse.

Comme la détermination d'une longueur exige deux points-événements, il n'en manque plus qu'un second. Or, c'est la masse m qui va se charger de le fournir. En effet, dès l'instant de la libération du corps d'épreuve, une perturbation gravifique est partie de celui-ci pour atteindre la masse m et être renvoyée vers le corps d'épreuve et c'est le retour de cette onde au corps d'épreuve qui constituera le second point-événement. Il est conjugué au premier à l'intervention de la masse m.

Cela étant, il est facile de vérifier que la distance l entre ces deux points-événements, représente la longueur cherchée.

En effet, désignons par m' la masse du corps d'épreuve, par r sa distance à la masse m à l'instant où il part du repos et par t le temps nécessaire à la lumière pour parcourir le trajet aller et retour entre le corps d'épreuve et la masse m.

Pour simplifier les calculs, supposons que la distance r soit grande de manière à pouvoir appliquer la loi de Newton. Dans ce cas, la force d'attraction f sera donc :

$$f = \mathrm{K} \frac{m\, m'}{r^2}$$

où K est la constante de gravitation, ce qui donne pour l'accélération g du corps d'épreuve :

$$g = \mathrm{K} \frac{m}{r^2}$$

Cette accélération peut être considérée comme sensiblement constante pendant la durée t.

En effet, le rapport entre le trajet l parcouru par le corps d'épreuve et le trajet $2r - l$ parcouru dans le même temps par la lumière est égal au rapport entre la vitesse moyenne du corps d'épreuve et la vitesse de la lumière. Comme la vitesse du corps d'épreuve part de zéro et si, comme nous l'avons supposé, r est grand de telle sorte que g est petit, la vitesse moyenne du corps d'épreuve sera petite vis-à-vis de la vitesse de la lumière c

et par conséquent l sera négligeable vis-à-vis de $2r-l$ et aussi vis-à-vis de r c'est-à-dire que g sera sensiblement constant. Le chemin parcouru l sera donc donné par la loi du mouvement uniformément accéléré :

$$l = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} \frac{\mathrm{K}\, m}{r^2} \left(\frac{2\, r}{c}\right)^2$$

ou bien :

$$l = \frac{2\,\mathrm{K}}{c^2}\, m$$

On voit que l ne dépend que de la masse m et lui est proportionnel et que le coefficient

$$\frac{2\,\mathrm{K}}{c^2}$$

est une constante universelle ne dépendant que du choix des unités.

Cette relation entre une longueur et une masse représente donc bien la relation qui doit exister entre l'espace et la substance.

Elle exprime l'inséparabilité de ces deux entités au même titre que l'équation de Minkowski exprime l'inséparabilité de l'espace et du temps ou que l'équation de Planck exprime l'inséparabilité de la substance et du mouvement.

La relation que nous venons d'obtenir correspond d'ailleurs à l'expression de la longueur dite gravifique intervenant dans la relativité généralisée car la longueur l se confond avec le coefficient α entrant dans l'expression du champ de Schwarzschild :

$$ds^2 = -\frac{1}{1-\frac{\alpha}{r}}\, dr^2 - r^2\,(d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\varphi^2) + \left(1 - \frac{\alpha}{r}\right) c^2\, dt^2$$

Elle se confond aussi avec le rayon de la sphère d'impénétrabilité ou d'inaccessibilité de la matière (Laue).

Ayant ainsi obtenu une relation universelle entre la substance et l'espace, il devient possible d'en déduire trois autres relations ayant également un caractère universel. Il suffit pour cela de combiner l'équation :

$$l = \frac{2\,\mathrm{K}}{c^2}\, m \qquad (1)$$

soit avec l'équation de Minkowski, soit avec l'équation de Planck, soit avec les deux à la fois.

L'équation de Minkowski permet de remplacer l par $c\,t$ ce qui donne la relation :

$$t = \frac{2\,\mathrm{K}}{c^3}\, m \qquad (2)$$

qui associe un temps à une masse et qui représente l'union du temps et de la substance.

Si paradoxal que cela puisse sembler cette équation exprime que du point de vue scientifique le temps est indiscernable de la substance.

Si, au lieu de considérer une masse m on fait intervenir une énergie ε par la relation $mc^2 = \varepsilon$, on aura :

$$t = \frac{2\,K}{c^5}\,\varepsilon \qquad (3)$$

qui associe un temps à une énergie.

De même en faisant appel à l'équation de Planck $\varepsilon = h\nu$ qui peut se mettre sous la forme

$$m = \frac{h\,\nu}{c^2}$$

la relation (1) devient :

$$l = \frac{2\,K\,h}{c^4}\,\nu \qquad (4)$$

qui associe une longueur à une fréquence.

Comme nous avons montré antérieurement que la fréquence est la véritable mesure du mouvement, cette relation exprime l'union de l'espace et du mouvement.

Enfin, en faisant à la fois appel à l'équation de Minkowski et à celle de Planck, la relation (1) donne :

$$t = \frac{2\,K\,h}{c^5}\,\nu \qquad (5)$$

qui exprime l'union du temps et du mouvement.

Nous avons donc ainsi obtenu les six relations correspondant aux six combinaisons deux à deux des quatre notions d'espace, de temps, de mouvement et de substance et que nous groupons dans le tableau ci-dessous :

espace-temps :	$l = ct$		
substance-mouvement :	$m = \frac{h}{c^2}\,\nu$	ou bien	$\varepsilon = h\,\nu$
espace-substance :	$l = \frac{2\,K}{c^2}\,m$	ou bien	$l = \frac{2\,K}{c^4}\,\varepsilon$
temps-substance :	$t = \frac{2\,K}{c^3}\,m$	ou bien	$t = \frac{2\,K}{c^5}\,\varepsilon$
espace-mouvement :	$l = \frac{2\,K\,h}{c^4}\,\nu$		
temps-mouvement :	$t = \frac{2\,K\,h}{c^5}\,\nu$		

Dans un système d'unités universelles, on devrait faire

$$c = h = K = 1$$

ce qui donnerait :

$$l = t = m = \nu$$

Appliquons les deux dernières équations du tableau ci-dessus à la fréquence ν d'une raie spectrale. A cette fréquence la physique associe une longueur d'onde λ et une période T. Les équations ci-dessus montrent qu'il y a lieu également d'y associer une longueur l et une durée t proportionnelles à la fréquence.

A cause de la très petite valeur du coefficient

$$\frac{2\,\mathrm{K}\,h}{c^5}$$

cette durée est extraordinairement courte.

On a en effet :

$$\frac{2\,\mathrm{K}\,h}{c^5} = 3{,}6 \quad 10^{-86}\ \mathrm{sec.}^2$$

ce qui donne pour la raie D du sodium : $t = 1{,}83 \,.\, 10^{-71}$ sec.

Si courte que soit cette durée, il y a lieu de supposer qu'elle est en connexion avec la durée d'émission proprement dite de la radiation, c'est-à-dire avec la durée d'un saut quantique.

Remarquons que la période d'oscillation d'un pendule peut être incomparablement plus grande que la durée de l'impulsion qui lui a donné naissance.

L'HYPOTHÈSE DE MILLIKAN-CAMERON DANS UN UNIVERS DE RAYON VARIABLE

par G. LEMAITRE,

Professeur à l'Université de Louvain

Millikan et Cameron [1] ont proposé l'explication suivante de l'origine des rayons cosmiques. L'hydrogène serait susceptible de se transformer en Helium, Oxygène, Magnésium, Fer, etc. L'excès de la masse du proton, noyau de l'atome d'hydrogène, sur celle du proton en combinaison dans les atomes de matière ordinaire (poids atomiques entiers) se retrouverait sous forme de radiation cosmique. Millikan et Cameron essayent de montrer que la fréquence de ces radiations résultant des lois quantiques correspond bien à la structure du spectre d'absorption, telle qu'elle se déduit de l'observation de la vitesse de décharge d'un électromètre protégé contre l'action des rayons cosmiques par des écrans d'eau d'épaisseur variable. Cette interprétation soulève des difficultés que nous ne voulons pas discuter ici. Nous retenons seulement que si elle est correcte, l'énergie des rayons cosmiques doit être sensiblement 137 fois plus grande que l'énergie massique de l'hydrogène à partir duquel ils sé sont formés.

Millikan et Cameron proposent en outre l'hypothèse suivante : L'hydrogène nécessaire à la production des rayons cosmiques se serait formé lui-même au dépens de la radiation circulant dans l'espace. Le cycle des transformations serait ainsi fermé : la matière des étoiles se transforme en radiation, la radiation devient de l'hydrogène, l'hydrogène se transforme en matière ordinaire et en rayons cosmiques, la matière ordinaire se retransforme en radiation dans les étoiles, etc. Les rayons cosmiques seraient ainsi les témoins de ces transformations. Leur intensité nous permet d'estimer la quantité totale de radiation qui s'est transformée en hydrogène à 137 fois celle des rayons cosmiques. Cette dernière est estimée au dixième de l'intensité de la radiation qui nous parvient des étoiles c'est-à-dire à

$$E = 0{,}8\ 10^{-13}\ \text{ergs} : \text{cm}^3.$$

La théorie de l'univers de rayon variable [2] rend compte de deux faits bien établis ; le premier de ces faits est que la présence de la matière

[1] Millikan et Cameron, *Phys. Rev.*, **32**, 533 (1928).

[2] G. Lemaitre, *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, **47**, 49 (1927). — W. de Sitter, *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, **5**, 193 (1930). — A. S. Eddington, *M. N.*, mai 1930.

modifie les propriétés géométriques de l'espace. La densité moyenne de la matière est reliée au rayon de l'univers par la relation

$$\varkappa \rho = \frac{2}{R_A^2}$$

où $\varkappa$ est la constante d'Einstein $1,87 . 10^{-27}$. Cette relation établie par Einstein, n'est valable que pour un système statique où les propriétés géométriques et par conséquent la densité restent invariables au cours du temps. Elle doit être modifiée pour tenir compte du second fait dont nous allons parler. Nous pouvons pourtant la conserver en considérant R_A comme une mesure convenable de la densité, et nous l'exprimerons en unités $A = 10^{24}$ cm. soit environ la distance de la nébuleuse d'Andromède ou un million d'années de lumière. L'estimation de la densité moyenne de l'univers est assez incertaine, les valeurs

$$R_A = 2200 \text{ A} \quad \text{et} \quad R_A = 85000 \text{ A}$$

proposées respectivement par de Sitter et Hubble semblent être des limites extrêmes.

Le second fait expérimental dont doit rendre compte la théorie de l'espace de rayon variable consiste en ceci : Les nébuleuses extra-galactiques s'éloignent de nous avec une vitesse proportionnelle à leurs distances. Ce fait s'interprète comme une dilatation générale de l'espace. Il est convenable de la mesurer par la valeur R_B du rayon de l'univers déduit de la formule

$$\frac{v}{c\,r} = \frac{1}{R_B^2}$$

Cette valeur est connue avec beaucoup plus de précision que R_A. Professeur de Sitter a obtenu

$$R_B = 2000 \text{ A}$$

La connaissance de R_A et de R_B permet de déterminer la dilatation totale de l'espace, c'est-à-dire le rapport $z = \frac{R}{R_0}$ entre le rayon actuel de l'univers et le rayon initial. Ce rayon R_0 est le rayon d'un univers du type de celui d'Einstein, statique mais instable. La valeur du rayon n'est notablement différente de R_0 que depuis une époque que la valeur de R_B permet de faire remonter à environ 10^{10} années.

Les valeurs de z, R_A et R_B sont liées par la relation

$$z^3 - 3\,z + 2 = 3\,\frac{R_A^2}{R_B^2}$$

donnant des valeurs de z comprises entre 2 et 20.

La radiation subit une diminution d'énergie correspondant à son changement de longueur d'onde, par suite de l'expansion de l'univers. La

densité d'énergie ou ce qui revient au même la pression de radiation est réduite précisément dans le rapport des rayons d'univers aux instants considérés. En particulier, la radiation émise à un moment où le rayon de l'univers ne différait guère de R_0 n'a plus qu'une densité d'énergie z fois moindre que sa densité initiale.

La théorie de l'univers de rayon variable nous amène donc à corriger ce que nous avions dit de l'hypothèse de Millikan. L'intensité de la radiation transformée en hydrogène serait égale à celle des rayons cosmiques multipliée par 137 z.

Le tableau suivant donne, pour des valeurs de z comprises entre 2 et 20, et pour R_B =2000 A, les valeurs de R_A et celles du rapport $137\, z\, \frac{E}{\rho}$ entre l'énergie de la radiation absorbée et celle de l'énergie massique actuellement présente sous forme d'étoiles. On voit que ce rapport est de l'ordre de l'unité pour une valeur R_A =80000 A voisine de celle de Hubble.

Ce résultat apporte un argument sérieux en faveur de l'hypothèse de Millikan-Cameron. Il peut s'interpréter de deux façons :

1° Si on admet l'idée générale d'évolution des étoiles suivant le schema de Russell, on est amené à supposer que l'énergie massique dissipée en lumière au cours de l'évolution est du même ordre de grandeur que l'énergie massique restant dans les étoiles.

2° On pourrait admettre que la lumière a été l'état originel de la matière et que toute la matière condensée en étoiles s'est formée par le processus proposé par Millikan.

Dans les deux cas, le rapport $137\, z\, \frac{E}{\rho}$ doit être égal à un.

z	R_A	$137\, z\, \frac{E}{\rho}$
2	2.300 A	0,00012
4	8.500	0,0032
6	16.400	0,018
8	25.600	0,058
10	36.000	0,14
12	47.500	0,28
14	60.000	0,55
16	73.400	0,95
18	87.700	1,52
20	102.500	2,3

SUR L'ÉLECTROMAGNÉTISME

par Th. DE DONDER,

Professeur à l'Université de Bruxelles

A diverses reprises [1], nous avons montré comment la Gravifique einsteinienne permettait de préciser et de généraliser les lois de l'électromagnétostriction. Dans cette note, nous résumerons d'abord la méthode que nous avons adoptée, puis nous montrerons comme on peut établir un lien entre la thermodynamique et l'électrodynamique de ces systèmes.



1. — *Champ gravifique massique et électromagnétique.*

En appliquant le principe variationnel aux fonctions caractéristiques $\mathfrak{M}^g$ et $\mathfrak{M}$, dites gravifique et phénoménale, on obtient les dix équations fondamentales de la Gravifique :

$$\frac{\delta(\mathfrak{M}^g + \mathfrak{M})}{\delta g^{\alpha\beta}} = 0 \tag{1}$$

Introduisons les tenseurs gravifique et phénoménal en posant :

$$\mathfrak{T}^g{}_{\alpha\beta} \equiv \frac{\delta \mathfrak{M}^g}{\delta g^{\alpha\beta}} \tag{2}$$

$$\mathfrak{T}_{\alpha\beta} \equiv -\frac{\delta \mathfrak{M}}{\delta g^{\alpha\beta}} \tag{3}$$

Les équations fondamentales (1) prendront alors la forme

$$\mathfrak{T}^g{}_{\alpha\beta} = \mathfrak{T}_{\alpha\beta} \tag{4}$$

Rappelons qu'on a pris :

$$\mathfrak{M}^g \equiv (a + b\,C)\sqrt{-g} \tag{5}$$

$$\mathfrak{M} \equiv -\mathfrak{N}\, u^\alpha u_\alpha + \mathfrak{M}^{(m)} + \mathfrak{M}^{(m,e)} + \mathfrak{M}^{(e)} \tag{6}$$

[1] Th. De Donder, *Bull. Ac. Roy. de Belg. Cl. des Sc.*, V, **12**, 673-678 (1926) et V, **14**, 206-210 (1928). Voir aussi *C. R. Ac. des Sc. Paris*, **187**, 28-30 (1928). On trouvera un exposé complet de ces questions dans le mémoire que nous avons publié dans les *Annales de l'Institut Henri-Poincaré* (1930) et qui constitue le résumé de six conférences faites, en 1929, dans cet Institut.

où $\mathfrak{N}$ est le facteur tensoriel *massique* ; où

$$\mathcal{M}^{(m)},\ \mathcal{M}^{(m,e)} \text{ et } \mathcal{M}^{(e)}$$

représentent respectivement les fonctions caractéristiques des phénomènes *massiques*, *massiques-électromagnétiques* et purement *électromagnétiques*. C'est dans l'introduction de la fonction

$$\mathcal{M}^{(m,e)}$$

que l'on doit chercher le côté nouveau de cette théorie de l'*électromagnétostriction*.

Conformément à (2) et (3), nous poserons aussi :

$$\mathfrak{T}^{(m)}_{\alpha\beta} = -\frac{\delta\,\mathcal{M}^{(m)}}{\delta g\alpha\beta}\ ;\ \mathfrak{T}^{(m,e)}_{\alpha\beta} = -\frac{\delta\,\mathcal{M}^{(m,e)}}{\delta g\alpha\beta}\ ;\ \mathfrak{T}^{(e)}_{\alpha\beta} = -\frac{\delta\,\mathcal{M}^{(e)}}{\delta g\alpha\beta} \quad (7)$$

D'où (3) s'écrira

$$\mathfrak{T}_{\alpha\beta} \equiv \mathfrak{N}\, u_\alpha\, u_\beta + \mathfrak{T}^{(m)}_{\alpha\,\beta} + \mathfrak{T}^{(m,e)}_{\alpha\,\beta} + \mathfrak{T}^{(e)}_{\alpha\,\beta} \quad (8)$$

Nous poserons aussi

$$\mathfrak{P}_{\alpha\beta} = \mathfrak{T}^{(m)}_{\alpha\,\beta} + \mathfrak{T}^{(m,e)}_{\alpha\,\beta} \quad (9)$$

2. — *Théorème de l'impulsion et de l'énergie.*

Ce théorème s'écrit

$$F_\alpha \equiv \mathfrak{T}^{\beta}_{\alpha\,.\beta} = 0 \quad (10)$$

ou

$$\mathfrak{T}^{\beta}_{\alpha\,.\beta} = \mathfrak{N}_\alpha + \mathfrak{P}_\alpha + F^{(e)}_{\alpha} = 0 \quad (10')$$

On a posé :

$$\begin{cases} \mathfrak{N}_\alpha = \left(\mathfrak{N} u_\alpha\, u^\beta\right)_{.\,\beta} = \mathfrak{N}\ \mathrm{A}_\alpha + u_\alpha\, \dfrac{d\,(\,\mathfrak{N}\ u^\beta\,)}{dx\,\beta} & (11) \\[2ex] \mathfrak{P}_\alpha = \mathfrak{P}^{\ \beta}_{\alpha.\,\beta} = \dfrac{d\,\mathfrak{P}^{\beta}_{\alpha}}{dx^\beta} - \dfrac{1}{2}\, g^{\beta\gamma}\, g_{\varepsilon\,\gamma,\alpha}\ \mathfrak{P}^{\varepsilon}_{\beta} & (12) \\[2ex] F^{(e)}_{\alpha} = F^{\delta\,(e)}_{\alpha\,.\,\delta}\ . & (13) \end{cases}$$

3. — *Hystérèse électromagnétique.*

Nous avons défini l'*hystérèse électromagnétique* grâce à

$$\mathcal{H}^{(e)}_{\alpha}\ (\alpha = 1 \ldots 4)$$

donné par :

$$\mathcal{H}_{\alpha}^{(e)} \equiv - F_{\alpha}^{(e)} + \mathcal{L}_{\alpha} \tag{14}$$

où nous avons posé (²) :

$$\mathcal{L}_{\alpha} \equiv K_{\cdot}^{\bar{\alpha}} \, C^{6} - K^{\alpha \bar{6}} \, C_{\cdot}^{6} \tag{15}$$

La puissance d'hystérèse est donnée par :

$$\mathcal{H}_{\alpha}^{(e)} \, u^{\alpha} \tag{16}$$

4. — *Principe fondamental de l'électromagnétostriction.*

Posons pour *la puissance de l'électromagnétostriction*

$$K^{(m,\,e)} \equiv \mathfrak{T}_{\alpha.6}^{\;6\,(m,\,e)} \, u^{\alpha} - \frac{d\left(\mathfrak{T}_{\alpha}^{\;6\,(m,\,e)} \, u^{\alpha}\right)}{dx^{6}} \tag{17}$$

Nous dirons aussi que ce

$$K^{(m,\,e)}$$

représente la puissance de striction.

Le *principe fondamental de l'électromagnétostriction* consiste à poser :

$$K^{(m,\,e)} = \mathcal{H}_{\alpha}^{(e)} \, u^{\alpha} \tag{18}$$

Autrement dit : *la puissance de striction est égale à la puissance d'hystérèse.*

Grâce à ce principe (18) nous avons pu *préciser* et *généraliser* (³) les formules de Maxwell, Hertz, Lorentz et L. Brillouin relatives à l'électromagnétostriction.

5. — *Thermodynamique des systèmes électromagnétiques quelconques.*

Nous avons écrit *le premier principe* de la thermodynamique sous la forme relativiste ou invariante suivante :

$$\frac{d}{ds}\left[U \, \delta \, (x^{1} \ldots x^{4})\right] = \left[Q - K\right] \delta \, (x^{1} \ldots x^{4}) \tag{19}$$

où

$$K = K^{(m)} + K^{(m,\,e)} + K^{(e)} \tag{20}$$

(²) Pour la définition des

$$K^{\alpha 6}, \; K^{\bar{\alpha}\bar{6}}, \; C^{6} \text{ et } C^{\bar{6}},$$

voir *Annales de l'Institut Henri-Poincaré* (Presses universitaires de France) (1930).

(³) Th. De Donder, *Bull. Ac. Roy. Belg. Cl. des Sc.*, V, **12**, 673-678 (1926) et **14**, 206-210 (1928). Voir aussi *C. R.*, Paris, **187**, 28-30 (1928).

Posons ici :

$$U \equiv U^{(m)} + U^{(m,\,e)} + U^{(e)} \tag{21}$$

et introduisons *le principe* nouveau :

$$U \equiv \mathfrak{T}_{\beta}^{\alpha\,(e)}\, u^{\alpha}\, u_{\beta} \quad . \tag{22}$$

Alors le premier principe (19) s'écrira :

$$\frac{d\left[U^{(m)}\, u^{\gamma} + \left(\mathfrak{T}_{\alpha}^{\beta\,(m,\,e)} + \mathfrak{T}_{\alpha}^{\beta\,(e)}\right) u^{\alpha}\, u_{\beta}\, u^{\gamma}\right]}{dx\gamma}$$

$$= Q - \left[K^{m} + K_{\alpha}^{(e)} + K^{(e)}\right] \tag{23}$$

Application aux systèmes électromagnétiques au repos dans un champ de Minkowski. En utilisant les notations explicitées dans nos travaux antérieurs [4], on aura *le bilan énergétique* :

$$d\,\frac{\left(\mathrm{U}^{(m)} + \mathrm{U}^{(m,\,e)}\right)}{dt} + \int_{v} K^{(m)}\,\delta v + \frac{1}{c}\int_{v} \frac{\partial\,\mathfrak{T}_{i}^{j\,(e)}}{\partial x_{j}}\, v^{i}\,\delta v + \frac{1}{c}\oint_{v} \mathfrak{T}_{i}^{n\,(e)}\, v^{i}\,\delta \mathrm{S}$$

$$-\frac{1}{c}\int_{v} \mathfrak{T}_{i}^{4\,(e)}\,\frac{\partial v^{i}}{\partial t}\,\delta v - \frac{1}{2}\int_{v}\left[\left(\mathrm{H}^{x}\,\frac{\partial\,\mathrm{B}}{\partial t}\right) - \left(\mathrm{B}\,\frac{\partial\,\mathrm{H}^{x}}{\partial t}\right) + \left(\mathcal{H}\,\frac{\partial\,\mathrm{B}}{\partial t}\right)\right] - \mathrm{B}\left(\frac{\partial\,\mathcal{H}}{\partial t}\right)\delta v$$

$$= \frac{d\mathrm{Q}}{dt} + \int_{v} \left[(\mathrm{H}^{x}\,\mathrm{C}) + (\mathcal{H}.\mathrm{C}_{x})\right]\delta v + \frac{1}{c}\oint_{\mathrm{S}} \mathfrak{T}_{4}^{n\,(e)}\,\delta\,\mathrm{S} \tag{24}$$

Dans le cas du *fluide parfait*, on a

$$\int_{v} K^{(m)}\,\delta v = pdv\,. \tag{25}$$

Le bilan (24) est très important parce qu'il permet d'étudier d'*une manière systématique* et *rigoureuse* les effets Joule, Peltier, Kelvin, etc., et d'en trouver de nouveaux.

---

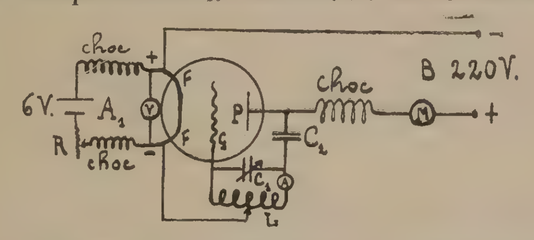
[4] Voir *Annales de l'Institut Henri-Poincaré* (Presses universitaires de France) (1930).

ÉTUDE DE QUELQUES PROPRIÉTÉS DES CHAMPS DE HAUTE FRÉQUENCE

par P. VANDENBERGHEN,

Professeur à l'Athénée d'Ostende

Nous avons fait nos expériences en nous servant du circuit Hartley, bien connu, dont nous donnerons simplement le schéma. La lampe triode utilisée était une lampe Métal E_{20} donnant 20 watts oscillants.



Nos premières expériences ont été faites à la fréquence d'environ 30 Mc. La self oscillante L, en tube de cuivre rouge de 6 mm., comportait 8 tours d'un diamètre intérieur de 25 mm. Aux bornes de cette self se trouvait un condensateur variable pour faire osciller notre circuit à la fréquence voulue. Le contrôle de cette fréquence était fait par un ondemètre à absorption.

Nous avons introduit à l'intérieur de la self différents corps, isolés par de grandes éprouvettes. Dans ces conditions nous avions à faire à un four H. F. alimenté par lampes triodes et fonctionnant à faible puissance. Nous nous contenterons de condenser les résultats de nos expériences.

I. — L'état physique exerce une influence sur la quantité de chaleur absorbée par les corps, en ce sens que les corps en poudre absorbent moins d'énergie que ces même corps sous forme massive.

II. — Compte tenu de l'état physique, les corps peuvent être rangés en deux catégories : *a*) ceux qui n'exercent aucune influence sur la fréquence du circuit oscillant, comme par exemple les électrolytes liquides ou en solution aqueuse ; *b*) ceux qui exercent une action spécifique sur cette fréquence.

L'expérience nous a montré que les métaux ayant la forme de cylindres fermés et soudés élèvent la fréquence par le seul fait de leur présence dans le circuit oscillant, et que les corps pulvérulents de la catégorie ferro-magnétique abaissent la fréquence du circuit oscillant.

Tableau . — Longueur d'onde = 13° ≠≠ 10 m.

Feeder antenne en A		Nature du corps introduit diamètre des cylindres de 70 à 75 mm.	Capacité		H. F. en ampères		Courant anodique en milliampères	
avant	après		avant	après	avant	après	avant	après
—	—	Cylindre de cuivre ouvert et isolé	27°	35°	1,2	1,1	122,5	127,5
—	—	Cylindre de cuivre soudé	27°	37°	1,2	1,45	120	125
—	0,100	Cylindre de Pb ouvert	20°	22°	1	1,1	—	116,25
0,150	0,175	Cylindre de Pb fermé	20°	32°	1	1,35	—	124
—	0,080	Cylindre de Al ouvert et isolé	20°	24°	1,025	1,125	119,5	120,5
—	0,175	Cylindre de Al non isolé	20°	32°	—	1,40	—	128
0,050	0,100	Cylindre de Zn soudé	24°	35°	1,10	1,525	122,5	132,5
—	0,180	Cylindre de Zn ouvert et isolé	20°,5	31°,5	1,05	1,45	119,5	129
0,100	0,150	Cylindre de laiton soudé . . , ...	20°	30°,5	0,955	1,35	116,25	138,75
0,090	—	Manchon acier.	24°	32°.5	1,10	1,20	122,5	135
0,120	0,100	Mg en poudre dans un vase de Berlin . .	21°	23°	1,05	0,95	137,5	145
0,100	0,050	Limaille de Fe dans flacon de 6 cm. diamètre	20°	**15°**	0,95	0,60	118,75	128,75
0,110	0,090	Limaille de Fe dans vase de Berlin de 70 mm.	20°	**14°,5**	0,955	0,65	118	126
0,100	0,140	Cylindre de Fe bien étamé.	20°	30°,5	1,025	1,21	119,5	128,75
0,110	0,140	Cylindre de Fe blanc rempli de limaille de Fe	20°	30°5	1.00	1,155	121,25	129,5
		Nid d'abeille de 150 tours	19°	29°	1	1,30	un courant H. F. parcourt la bobine	
		Charbon de bois pulvérisé	—	—	1,75	1,75	157,5	157,5

Conclusions. — 1° Les corps ferromagnétiques, sous forme de limaille, agissent très défavorablement sur les circuits oscillants.
2° Tout conducteur occupant l'intérieur d'un circuit oscillant et formant une boucle fermée est le siège de courant de H. F. Ils ont pour effet d'améliorer le rendement d'un émetteur.

Nous avons également fait varier la valeur de notre self oscillante et nous avons observé toujours les mêmes phénomènes avec tous les types de selfs utilisés.

Voici un tableau qui comprend une série de résultats obtenus avec une self de deux spires en tube de cuivre rouge de 8 mm. et d'un diamètre intérieur de 85 mm., à la fréquence de 30 Mc. Notre condensateur d'accord était un variable de $0{,}25 \times 10^{-3}$ microfarad, à variation linéaire de longueur d'onde. Son cadran était gradué de 0 à 100°. D'autre part, nous avons couplé à cet appareil, avec une spire, une antenne dont la longueur d'onde fondamentale était de 10 m., ayant une partie horizontale de 5 m. et un feeder de descente de 2,5 m. avec son feeder retour également de 2,5 m. C'est l'antenne dite en zeppelin utilisée par les amateurs émetteurs. Un ampèremètre thermique Chauvin Arnoux de 0 à 2 A. est intercalé dans le circuit oscillant L et un autre dans le feeder d'antenne (voir tableau).

En présence de ce phénomène général et dont à notre connaissance, il n'a pas été fait mention jusqu'à présent, nous nous sommes demandé si cette action provenait ou bien de l'effet de self induction ou bien du coefficient d'induction mutuelle, l'effet de résonance devant être exclu à cause des dimensions des cylindres introduits dans le circuit oscillant.

En procédant par éliminations nous sommes arrivés à la conviction que la self induction ne joue pas de rôle ou un rôle bien accessoire, mais que nous agissons heureusement sur le coefficient M d'induction mutuelle et que nous tirons parti de courants analogues aux courants de Foucault.

L'expérience nous a montré également que ces courants sont localisés dans la couche superficielle du métal. C'est une vérification du « skin effect » bien connu.

Nous avons repris nos expériences à des fréquences de 14, puis de 7,5 Mc. A cette dernière fréquence, la self comprenait huit spires en tube de cuivre rouge de 6 mm. d'un diamètre intérieur de 85 mm. Nous avons engagé nos cylindres fermés et soudés, successivement de 1, 2, etc. spires du côté plaque ou du côté grille.

L'expérience à montré qu'il était plus avantageux d'agir du côté circuit plaque et en partie du côté circuit grille. En effet, dans ce cas le courant anodique passe par un maximum pour décroître ensuite, tandis qu'autrement le courant anodique tend sans cesse à croître.

Nous donnons quatre diagrammes dont trois, celui pour le Pb, le Cu et le Zn, présentent la même allure générale (voir graphiques).

La variation de capacité est sensiblement linéaire. Elle part d'un point commun 56° pour atteindre finalement la même valeur.

Les courbes du courant anodique présentent également, à peu de chose près, la même allure.

Par contre, les courbes de la H. F. partent d'un même point initial, mais ont des pentes bien différentes.

En comparant les résistivités à 18° des trois métaux, nous avons des valeurs proportionnelles à Cu 17, Zn 61, Pb 210.

Il apparaît que la résistance électrique joue un rôle important et ceci

confirme que nous avons à faire à une influence de courants dans le genre des courants de Foucault.

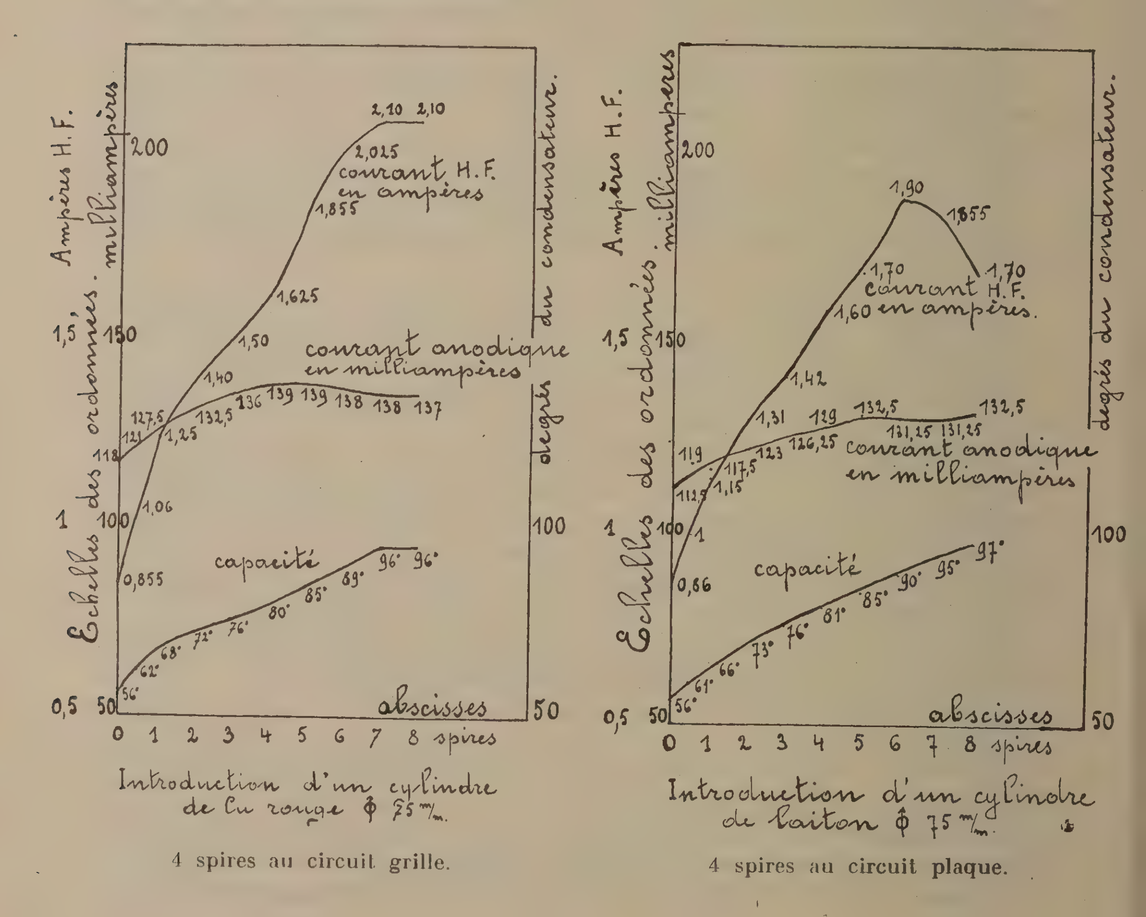
La courbe relevée avec le laiton (laiton du commerce) présente des particularités singulières.

L'étude d'alliages à teneurs variables pourrait, nous semble-t-il, réserver des curiosités remarquables.

Nous avons repris les mêmes expériences mais avec des métaux enroulés en cylindre dont les extrémités étaient isolées avec du papier. L'introduction de papier n'avait aucune influence ni sur les courants H. F. et anodique, ni sur la longueur d'onde.

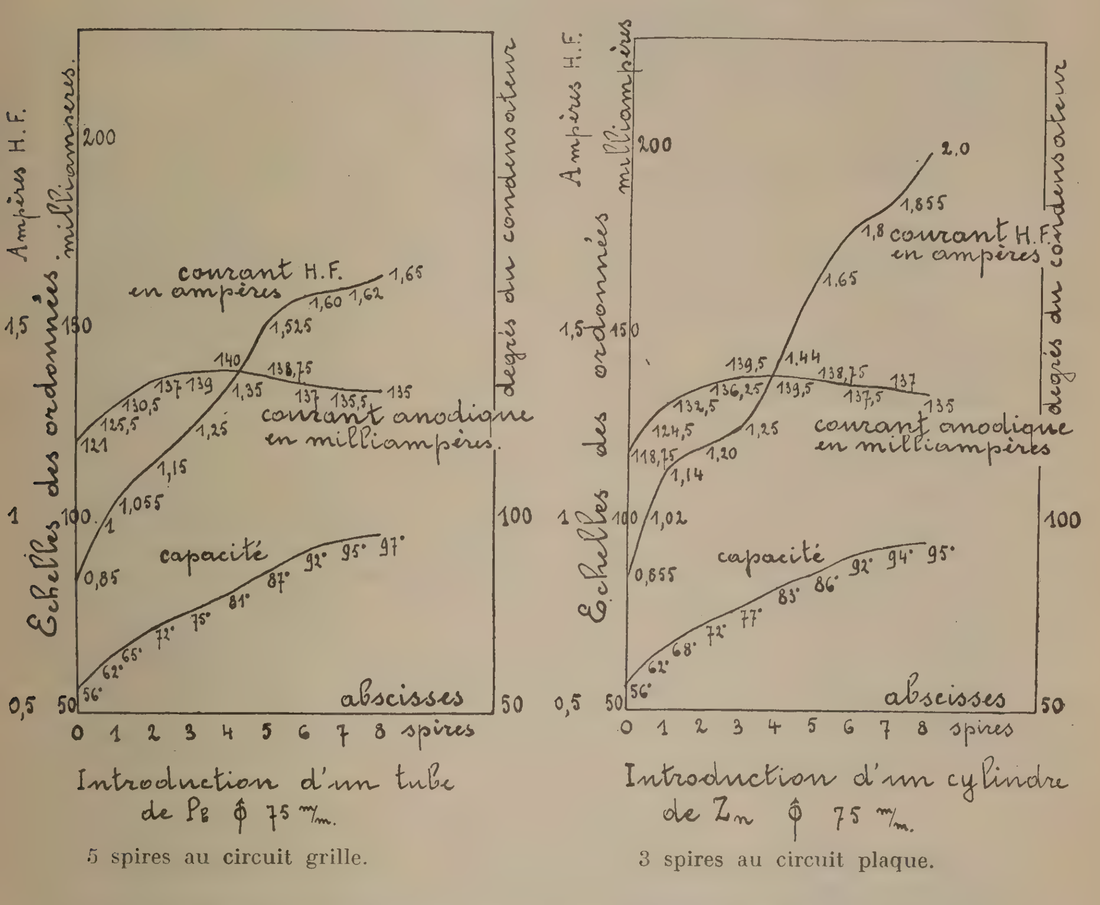
Les indications 0, 1... 8 spires, portées en abcisses, se rapportent aux expériences où les cylindres sont introduits dans 0, 1 ... 8 spires du circuit oscillant à partir du côté plaque.

Lampe Métal $E_{20}-\lambda=40$ m. Self oscillante 8 spires Ø 85 m/m. Volts filament 4,5. Tension anodique 220 V.



4 spires au circuit grille.

4 spires au circuit plaque.



5 spires au circuit grille.

3 spires au circuit plaque.

Le tableau suivant nous montre que c'étaient les courants qui circulent dans le métal qui réagissent heureusement sur le circuit oscillant.

Nature du corps introduit	Capacité		H. F. en ampères		Courant anodique en milliampères	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Cu cylindre ouvert	56°	57°	0,850	0,851	113,75	115
Laiton cylindre ouvert	56°	57°,5	0,850	0,855	114,5	115

L'expérience nous a montré aussi que le meilleur rendement s'obtenait en n'engageant pas entièrement le cylindre dans le circuit grille, mais seulement dans une partie de ce circuit.

Un cylindre d'acier agit exactement dans le même sens que les cylindres d'autres métaux, mais par contre le courant H. F. diminue fortement.

Il y a ici une action surajoutée au phénomène général que nous avons observé.

Nous avons aussi remplacé nos cylindres massifs par des cylindres en treillis de laiton croisé et en treillis de fer étamé à mailles de 1 mm. Ces cylindres ont été soudés puis introduits dans le champ H. F.

Longueur d'onde=40 m. Chauffage=5 V. 4 spires+4 spires.

Nature du corps introduit Cylindres de 75 mm.	Capacité		H. F. en ampères		Courant anodique en milliampères	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Laiton mailles croisées complètement introduit	56°	92°	0,85	1,20	127,5	149,0
Idem en retirant le cylindre de 1,5 spire côté grille		91°		1,90		160,5
Fer étamé maille carrée de 1 mm.	56°	27°	0,855	0,50	143	190
Idem en retirant le cylindre de 2 spires côté grille		23°		0,48		210
Idem en retirant le cylindre de 4 spires côté grille		13°		0,30		230

Si le cylindre en mailles de laiton se comporte comme un cylindre en métal laminé, par contre le *cylindre en mailles de fer étamé se comporte absolument comme la limaille de fer.*

Ce dernier phénomène ne pouvait, à notre avis, être prévu.

Considérations générales

Nous ferons remarquer qu'un émetteur est réglé au maximum de puissance quand le thermique du circuit oscillant donne la plus grande intensité possible (Cf. GUTTON, *Lampe à trois électrodes*, édition 1929, p. 71).

Quand le courant H. F. diminue, le circuit devient plus résistant et réciproquement.

Nous pouvons donc conclure qu'il y a moyen, par le dispositif utilisé, d'améliorer la puissance et de nous rapprocher du maximum de puissance et en même temps du meilleur rendement d'un émetteur. Car si d'une part nous avons augmenté le courant anodique, d'autre part nous avons accrû beaucoup plus l'intensité du courant oscillant, comme le tableau suivant va nous l'indiquer.

Longueur d'onde=40 m.

Nature du corps introduit	Δ H, F. %	Δ Courant anodique en %
Cylindre mailles laiton	58 %	14 %
Cylindre de Zn	134 %	13,5 %
Cylindre de Cu rouge	145,5 %	17 %
Cylindre de Pb	94 %	11,5 %

Conclusions

Une première étude du rendement d'un circuit oscillant à lampes nous a conduit aux conclusions suivantes :

1° Dans des conditions identiques de capacité, de dimensions et de forme, tous les conducteurs agissent dans le même sens sur le rendement d'un émetteur à H. F.

Cette action est fonction inverse de la résistance en courant continu.

2° Les corps ferromagnétiques présentent d'autres phénomènes, surajoutés aux précédents, et qui tendent à détruire le premier effet. Mais ces phénomènes ne parviennent toutefois pas à masquer complètement cet effet.

3° Un treillis de fer exerce la même influence que la limaille de fer.

4° Pour une dimension donnée de conducteurs homogènes et fermés il y a un coefficient d'induction mutuelle M donnant le maximum de rendement.

Nos conclusions ne peuvent être tenues pour valables que pour autant qu'il s'agisse de courant H. F. engendré par des lampes.

GÉNÉRALISATION DE LA FORMULE DE WIECHERT-LIÉNARD APPLICATION AU CAS D'UNE SURFACE ÉLECTRISÉE EN MOUVEMENT

par Jacques VAN MIEGHEM

I. *Préliminaires* [1]. — Le mouvement de tout point électrisé est donné par l'intégrale générale

$$x_1 = x\,(t_1\,;\, x, y, z, t) \quad , \quad y_1 = y\,(t_1\,;\, x, y, z, t) \quad , \quad z_1 = z\,(t_1;\, x, y, z, t) \quad (1)$$

des équations différentielles

$$\frac{dx}{v_x} = \frac{dy}{v_y} = \frac{dz}{v_z} = dt \qquad (2)$$

du mouvement de l'électricité potentiante. Les symboles x, y, z représentent les coordonnées cartésiennes d'un point électrisé à l'instant t; v_x, v_y, v_z sont les composantes rectangulaires de la vitesse $\boldsymbol{v}$ de ce point à cet instant t, ce sont des fonctions quelconques de x, y, z et t.

Les équations (1) et la relation du temps anticipé (Latenszeit de M. Abraham) [2]

$$t_1 = t - \frac{r_1}{c} \qquad (3)$$

forment un système de *quatre* équations en x, y, z, t qu'on pourra écrire

$$x_1 = x_1\,(x, y, z, t) \quad , \quad y_1 = y_1\,(x, y, z, t) \quad , \quad z_1 = z_1\,(x, y, z, t) \quad , \quad t_1 = t_1\,(x, y, z, t) \qquad (4)$$

Dans la formule (3), r_1 est défini par

$$r_1 \equiv \left|\sqrt{(x_P - x_1)^2 + (y_P - y_1)^2 + (z_P - z_1)^2}\right|$$

où

$$(x_P\,,\, y_P\,.\, z_P\,)$$

sont les coordonnées du point potentié P pris à l'instant t.

Afin de faciliter l'exposé, nous emploierons le symbole $\{\Psi(x, y, z, t)\}^c$ qui exprime que dans Ψ, on doit remplacer x, y, z, t respectivement par

(1) H. Poincaré, *Sur la dynamique de l'Electron, Rendiconti del Circolo di Matematico di Palermo*, **21** (1906). — Th. De Donder, *Over de vertraagde potentialen, Wis- en natuurkundig Tijdschrift*, **4**, Gent (1928). — J. Van Mieghem, *Etude sur les potentiels retardés ; Bull. Ac. Roy. de Belg., Cl. des Sc.* (janvier, mars, avril 1930).

(2) M. Abraham, *Theorie der Elektrizität*, Bd. **2**, 5te Aufl., p. 48 (1923).

x_1, y_1, z_1, t_1 donnés par (4) *après* avoir effectué toutes les opérations — de dérivation, par exemple — qui figurent dans Ψ.

Considérons à l'*instant* t, une surface *quelconque* S d'équation

$$\varphi(x,\ y,\ z,\ t)=0. \tag{5}$$

Introduisons les éléments positifs d'aire δS, $\delta_1 S_1$, δS_1. L'élément δS peut être calculé à l'aide de l'équation (5), les éléments $\delta_1 S_1$ et δS_1 sont les transformés de δS respectivement pour les transformations (1) — où l'on suppose t_1 constant — et (4).

Sur les éléments δS et δS_1 on a

$$\delta t \equiv 0 \tag{6}$$

tandis que sur $\delta_1 S_1$ on a

$$\delta_1 t_1 \equiv 0. \tag{7}$$

A l'aide des formules (1) et (3) on calcule aisément les neuf jacobiens des x_1, y_1, z_1 pris deux à deux par rapport aux x, y, z pris deux à deux ; ainsi, par exemple

$$\left.\frac{d\,(y_1,\, z_1)}{d\,(x,\, y)}\right| = \frac{1}{1-\dfrac{\mathbf{v}_{r1}}{c}} \cdot \frac{\partial\,(y_1,\, z_1)}{\partial\,(x,\, y)} - \frac{x-x_1}{cr_1}\,\frac{\partial\,(x_1,\, y_1,\, z_1)}{\partial\,(x,\, y,\, t)} \tag{8}$$

Rappelons que [3]

$$\frac{d\,(x_1,\, y_1,\, z_1)}{d\,(x,\, y,\, z)} = \frac{1}{1-\dfrac{\mathbf{v}_{r1}}{c}} \cdot \frac{\partial\,(x_1,\, y_1,\, z_1)}{\partial\,(x,\, y,\, z)}. \tag{9}$$

Les symboles de dérivation

$$\frac{d}{d\,x},\quad \frac{d}{dy},\quad \frac{d}{dz},$$

appliqués aux équations (1) sont définis par

$$\frac{d}{dx}=\frac{\partial}{\partial x}+\frac{\partial t_1}{\partial x}\cdot\frac{\partial}{\partial t_1}\quad,\quad \frac{d}{dy}=\frac{\partial}{\partial y}+\frac{\partial t_1}{\partial y}\cdot\frac{\partial}{dt_1}\quad,\quad \frac{d}{dz}=\frac{\partial}{\partial z}+\frac{\partial t_1}{\partial z}\cdot\frac{\partial}{\partial t_1}. \tag{10}$$

Le symbole $\mathbf{v}_{r1}$ dans les formules (8) et (9) représente la projection orthogonale de la vitesse $\mathbf{v}_1$ du point potentiant (x_1, y_1, z_1) à l'instant t_1 sur l'axe (r_1) joignant ce point au point potentié P.

II. *La formule cinétique de Kirchhoff-De Donder.* — Si la fonction U est une fonction régulière, la fonction de Kirchhoff-Beltrami de U est donnée par

$$G\,(x,\, y,\, z,\, t) \equiv \sum_{x,\, y,\, z}\left(\frac{1}{r}\,\frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x}U + \frac{1}{cr}\,\frac{\partial r}{\partial x}\,\frac{\partial U}{\partial t}\right)\cos\,(n\,x) \tag{11}$$

(3) J. Van Mieghem, *Etude sur les potentiels retardés* (Première communication), *Bull. Ac. Roy. de Belg., Cl. des Sc.* (janvier 1930), formule (21) dans le cas où (13) est donné par (25).

ou, d'une manière condensée par

$$G(x, y, z, t) \equiv \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial n} - \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial n} U + \frac{1}{cr} \frac{r}{\partial n} \frac{\partial U}{\partial t}, \tag{12}$$

où n représente la normale extérieure à la surface S.

Posons

$$X \equiv \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial x} U + \frac{1}{cr} \frac{\partial r}{\partial x} \frac{\partial U}{\partial t}, \quad Y \equiv \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial y} - \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial y} U + \frac{1}{c\,r} \frac{\partial r}{\partial y} \frac{\partial U}{\partial t},$$

$$Z \equiv \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial z} - \frac{\partial \frac{1}{r}}{\partial z} U + \frac{1}{cr} \frac{\partial r}{\partial z} \frac{\partial U}{\partial t} \tag{13}$$

et

$$X_1 \equiv \{X\}_1 \quad , \quad Y_1 \equiv \{Y\}_1 \quad , \quad Z_1 \equiv \{Z\}_1 \tag{14}$$

Considérons la forme différentielle 2 – uple

$$\omega_1 \equiv \{G(x, y, z, t)\}_1 \,\delta S_1 \equiv X_1 \,\delta y_1 \,\delta z_1 + Y_1 \,\delta z_1 \,\delta x_1 + Z_1 \,\delta x_1 \,\delta y_1 \tag{15}$$

Nous avons démontré (4) que la différentielle symbolique $D\omega_1$ de la forme ω_1 est la forme

$$D\,\omega_1 \equiv \left\{\frac{\Box U}{r}\right\}_1 \frac{d(x_1, y_1, z_1)}{d(x, y, z)} \,\delta x \,\delta y \,\delta z \,. \tag{16}$$

Lorsque le point potentié P est en dehors de la surface S on peut appliquer la formule de Stokes (5) à la forme ω_1

$$\oint_{S_1} \omega_1 \equiv \int_{v_1} D\omega_1 \tag{17}$$

où v_1 est le volume limité par la surface S_1, transformée de S par la transformation (4) à l'instant t.

Lorsque le point potentié P est dans la surface S, il faut faire une alvéole autour du point P ; dans ce cas la formule (17) conduit à *la formule cinétique de Kirchhoff-De Donder*

$$\boxed{4\pi U_P \equiv \int_{s1} \{G(x, y, z, t)\}_1 \,\delta S_1 - \int_{v1} \left\{\frac{\Box U}{r}\right\}_1 \delta v_1} \tag{18}$$

où

$$\delta v_1 \equiv \frac{d(x_1, y_1, z_1)}{d(x, y, z)} \,\delta x \,\delta y \,\delta z \equiv \frac{\partial(x_1, y_1, z_1)}{\partial(x, y, z)} \frac{\delta x \,\delta y \,\delta z}{1 - \frac{v_{r1}}{c}} \equiv \frac{\delta_1 x_1 y_1 \delta_1 z_1}{1 - \frac{v_{r1}}{c}} \equiv \frac{\delta_1 v_1}{1 - \frac{v_{r1}}{c}} \tag{19}$$

(4) J. Van Mieghem, *Etude sur les Potentiels retardés* (Troisième communication), *Bull. Ac. Roy. de Belg., Cl. des Sc.* (avril 1930).

(5) Th. De Donder, *Théorie des Invariants et Intégraux* ; Paris, Gauthier-Villars, p. 45 à 47 (1927).

Le symbole δ_1 a été adopté pour rappeler (7).

Nous avons montré [6] que

$$\{G(x, y, z, t)_1\}_1 \delta S_1 = \underset{x,y,z}{S}\left[X_1 \frac{d(y_1, z_1)}{d(y, z)} + Y_1 \frac{d(z_1, x_1)}{d(y, z)} + Z_1 \frac{d(z_1, y_1)}{d(y, z)}\right]\cos(nx)\delta S$$

$$= \frac{F n_1^1 - F r_1 \frac{v n_1^1}{c}}{1 - \frac{v_{r1}}{c}} \delta_1 S_1 \tag{20}$$

où F_{r_1} est la projection orthogonale du vecteur F_1 de composantes $(X_1, X_1 Z_1)$ sur l'axe r_1 et où $n_1{}^1$ est la demi-normale extérieure à l'élément de surface $\delta_1 S_1$.

D'où, (18), (19) et (20)

$$\boxed{4\pi U_P = \oint_S \frac{F n_1^1 - F r_1{}^1 \frac{v n_1^1}{c}}{1 - \frac{v_{r1}}{c}} \delta_1 S_1 - \int_{v_1} \frac{\left[\frac{\Box U}{r}\right]_1}{1 - \frac{v_{r1}}{c}} \delta_1 v_1} \tag{21}$$

où

$$U_P = U(x_P, y_P, z_P, t).$$

III. *La formule de Wiechert-Liénard généralisée.* — Considérons en particulier une fonction U solution de l'équation de Poisson

$$\Box U = -4\pi\rho \tag{22}$$

où

$$\rho = \rho(x, y, z, t) \tag{23}$$

est la densité de l'électricité au point (x, y, z) à l'instant t.

En remarquant que la charge élémentaire invariante sur sa trajectoire est donnée par

$$\delta e = \rho\, \delta x\, \delta y\, \delta z = \rho_1\, \delta_1 x_1\, \delta_1 y_1\, \delta_1 z_1 \tag{24}$$

où

$$\rho_1 = \rho(x_1, y_1, z_1, t_1) \tag{25}$$

la formule (21) devient dans ce cas

$$\boxed{U_P = \frac{1}{4\pi}\oint_S \frac{F n_1^1 - F r_1 \frac{v_{n_1^1}}{c}}{1 - \frac{v_{r1}}{c}} \delta_1 S_1 + \int_{v_1} \frac{\delta e}{r_1\left(1 - \frac{v_{r1}}{c}\right)}} \tag{26}$$

La formule (26) généralise la formule de Wiechert-Liénard. On retrouve cette formule lorsque tous les points de la surface S sont rejetés à l'infini.

(6) J. VAN MIEGHEM, *loc. cit.*, formules (60) à (63).

Considérons des charges électriques réparties en volume et en mouvement conformément aux équations différentielles (2). Dans ces charges, fixons notre attention sur un volume v *quelconque* limité par une charge S. *Nous supposons le volume v et la surface* S *animés du mouvement défini par les équations* (2) *de l'électricité potentiante*. Le potentiel scalaire retardé en un point P du volume v est donné par (26). Le premier terme du second membre de la formule (26) donne l'influence au point P des charges électriques situées à l'extérieur du volume v, il vérifie l'équation de Laplace. Le second terme, au contraire, donne l'influence au point P des charges électriques situées à l'intérieur du volume v, il vérifie l'équation de Poisson.

IV. *Formule de Wiechert-Liénard dans le cas d'une surface électrisée.* — Considérons des charges électriques réparties sur la surface S en mouvement conformément aux équations finies (1).

Posons, en vertu de l'hypothèse de l'invariance de la charge

$$\delta\,\varepsilon \equiv \sigma\,\delta\,S \equiv \sigma_1\,\delta_1\,S_1 \tag{27}$$

où

$$\sigma \equiv \sigma\,(x, y, z, t) \tag{28}$$

représente la densité électrique superficielle au point (x, y, z) de la surface S à l'instant t, et où

$$\sigma_1 \equiv \sigma\,(x_1, y_1, z, t_1) \tag{29}$$

$\delta\,\varepsilon$ représente la charge élémentaire invariante sur sa trajectoire.

Le potentiel scalaire retardé au point P dû aux charges réparties sur la surface considérée est défini par

$$V_P \equiv \int_{S_1} \frac{\sigma_1\,\delta\,S_1}{r_1} \tag{30}$$

où

$$V_P \equiv V\,(x_P\,,\, y_P\,,\, z_P\,,\, t)$$

Transformons la formule (30). On a évidemment

$$(\delta\,S_1)^2 \equiv (\delta\,S)^2 \underset{x_1,\,y_1,\,z_1}{\mathrm{S}}$$

$$\left[\frac{d\,(y_1, z_1)}{d\,(y, z)}\cos\,(n\,x) + \frac{d\,(y_1, z_1)}{d\,(z, x)}\cos\,(n\,y) + \frac{d\,(y_1, z_1)}{d\,(x, y)}\cos\,(n\,z)\right]^2 \tag{31}$$

D'où, (8),

$$(\delta\,S_1)^2 \equiv \frac{1 - 2\left(\frac{v\,n_1{}^1}{c}\right)_{r1} + \left(\frac{v\,n_1{}^1}{c}\right)^2}{\left(1 - \frac{v_{r1}}{c}\right)^2}\,(\delta_1\,S_1)^2\,, \tag{32}$$

et, (30)

$$\boxed{V_P \equiv \int_S \frac{\left[1 - 2\left(\frac{v\,n_1{}^1}{c}\right)_{r1} + \left(\frac{v\,n_1{}^1}{c}\right)^2\right]^{1/2}}{r_1\left(1 - \frac{v\,r_1}{c}\right)}\,\delta\,\varepsilon} \;. \tag{33}$$

LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DES GAZ ET LES RAPPORTS DE LA SCIENCE ET DE L'INDUSTRIE

par A. DE HEMPTINNE,

Professeur à l'Université de Louvain

La science conduit parfois à des applications industrielles imprévues. Elle bénéficie parfois aussi, à son tour, d'observations faites sur une grande échelle. C'est un exposé très concis d'un cas de ce genre que je me propose de faire. L'espace très réduit dont je dispose m'oblige à me contenter d'indications essentielles ; j'espère qu'elles suffiront à justifier le titre de mon exposé.

Hertz, en 1887, avait mis en évidence l'existence d'oscillations électriques de très courtes longueurs d'ondes.

Ce fut le triomphe de la théorie électro-magnétique de la lumière. Or, la lumière a une influence sur certains composés chimiques, sur leur décomposition et sur leurs combinaisons ; pourquoi n'en serait-il pas de même du champ oscillant? C'est ce que je me proposai de rechercher. Je ne pus donner une suite immédiate à ce projet, le matériel scientifique nécessaire me faisant défaut au moment où j'y songeai, c'est-à-dire en 1891. Entretemps, je m'occupai d'un sujet aussi intimement lié aux rapports de la matière et de l'électricité.

En cette même année 1887, Arrhenius avait mis en évidence le rapport intime qu'il y a entre la conductivité électrique des solutions salines et leur activité chimique. N'y a-t-il rien de semblable pour les gaz? C'est-à-dire un rapport entre leur activité chimique et les phénomènes électriques dont ils peuvent être le siège? Ce fut en 1893 l'objet de mes premières recherches.

A l'état normal, la conductivité des gaz est si faible qu'elle ne peut être prise en considération. Elle ne devient appréciable que par l'intervention d'énergies étrangères, combinaisons chimiques, chaleur, lumière, rayons X. substances radio-actives, électricité. Les réactions chimiques se compliquent souvent d'effets calorifiques ; c'est le cas de la flamme. On sait qu'alors des électrons peuvent être émis par les électrodes. On peut cependant pour ainsi dire éliminer l'effet de l'échauffement des électrodes en opérant sur des mélanges capables de se combiner brusquement. C'est le cas de l'explosion. Elle peut s'effectuer à une pression plus ou moins raréfiée ; elle est accompagnée de phénomènes de conductivité qui révèlent la présence de particules électrisées.

Les réactions chimiques gazeuses peuvent donc parfois être accompagnées d'ionisation.

Il n'en est cependant pas toujours ainsi, comme je le constatai en observant la combinaison de l'oxyde azotique et de l'oxygène à la température ordinaire, fait confirmé plus tard par d'autres auteurs.

Chercher à observer l'ionisation lors des combinaisons chimiques gazeuses est certainement intéressant, mais c'est là un rôle un peu passif. Etudier dans quelle mesure des gaz ionisés deviennent plus actifs est un sujet qui promettait d'être fécond en résultats et c'est pour ce motif que je m'occupai aussi d'étudier les diverses circonstances qui influencent l'ionisation des gaz.

En 1900, Townsend avait imaginé la théorie de l'ionisation par le choc. Les particules électrisées préexistantes dans un gaz peuvent acquérir une énergie cinétique suffisante pour ioniser les molécules, si elles sont soumises à un champ électrique assez puissant. Ces nouveaux ions en produisent d'autres et ainsi de suite. Suivant les conditions où l'on opère, on obtient un arc électrique, une décharge disruptive ou une effluve, c'est-à-dire une décharge très divisée réalisée par l'interposition d'un diélectrique ou en opérant à une pression réduite de l'ordre de grandeur du millimètre.

La décharge disruptive et l'effluve ont été l'objet d'un grand nombre de travaux. Je me suis plus particulièrement attaché avec la collaboration de mes élèves à étudier l'effet de la nature des substances de la pression des gaz et l'influence du voisinage ou de l'interposition de diélectriques.

Dans ce dernier cas, les effets sont très différents, suivant que l'on utilise du courant continu ou du courant alternatif.

Un mot maintenant de l'effet du champ oscillant, dont je commençais l'étude en 1896.

Les gaz à pression réduite contenus dans des tubes sans électrodes et soumis à un champ électrique oscillant assez puissant deviennent luminescents et en même temps conducteurs. Lorsque des effets chimiques, décomposition ou synthèses peuvent avoir lieu, leur apparition coïncide toujours avec la luminescence, c'est-à-dire avec la conductivité électrique.

L'étude de l'action de l'effluve électrique sur la formation de l'ozone, de l'ammoniaque, de l'eau oxygénée et d'autres corps mit aussi en évidence l'influence des conditions où l'on opérait.

En 1902, je signalais l'avantage qu'il y a à opérer à pression réduite, pour la synthèse de l'ammoniaque, par exemple ; ce fait fut confirmé en 1907 par Briner.

Je fus aussi amené à me demander s'il ne se produirait pas de l'hydrogène actif en opérant dans des conditions appropriées, aussi bien qu'il se forme de l'ozone par la décharge électrique. Diverses circonstances m'amenèrent ainsi à rechercher si l'hydrogène activé par l'effluve ne se fixerait pas sur de l'acide oléique. Ce liquide organique est comme on le sait non saturé ; on peut lui supposer une prédisposition à fixer l'hydrogène. Cette recherche avait à la fois un but scientifique et économique ; si elle réussissait, on aurait un procédé pour transformer l'oléine en stéarine. Si l'effluve

électrique communique à l'hydrogène une certaine activité, elle se perd rapidement. C'est pourquoi, il importe de soumettre simultanément le gaz et le liquide à l'action électrique, si l'on veut obtenir des effets notables.

J'obtins ainsi un produit blanc pâteux formé de stéarine et de substances complexes.

Ce fut le point de départ de recherches quantitatives sur une plus grande échelle, en vue d'établir le coût de transformation. Celui-ci dépend de l'énergie utilisée, c'est-à-dire de watts ou de volts-ampères.

Or, l'usage de courant alternatif s'impose si l'on interpose des diélectriques, il faudra tenir compte du cos φ.

Ce seront les ampères efficaces qui seront utiles, car ils sont en rapport intime avec la conductivité, c'est-à-dire l'ionisation. Un certain voltage minimum pour réaliser une bonne ionisation est aussi nécessaire. Mais, à part cela, toutes les causes qui absorbent inutilement de la tension sont de l'énergie perdue. Parmi celles-ci, nous citerons l'épaisseur des diélectriques, l'épaisseur de l'effluve, l'épaisseur de la couche liquide et la pression du gaz. Tous les facteurs que nous venons d'énumérer peuvent être réduits jusqu'à une certaine limite compatible avec les conditions expérimentales. Le dispositif suivant réalise les conditions les plus avantageuses. La couche mince de liquide est obtenue par l'emploi de disques animés d'un mouvement lent de rotation et arrosés par le liquide d'une façon appropriée. Ils sont distants de quelques millimètres, et alternativement en métal et en substance isolante.

Les plaques métalliques de numéro d'ordre impair reliées à l'un des pôles d'un alternateur, celles de numéro pair à l'autre, il se forme une effluve entre les plaques, recouverte de la couche mince de liquide. Il va sans dire que tout le dispositif est enfermé dans une cuve contenant le gaz à la pression désirée.

Les expériences répétées sur des quantités d'oléine, variant de 20 à 30 kilos et avec une puissance de 700 watts environ, prouvèrent que le procédé était trop coûteux pour être exploité industriellement.

J'utilisai alors l'appareillage existant pour faire des essais sur d'autres substances. Je m'adressai de préférence à des corps non saturés capables de fixer l'hydrogène et trouvai ainsi que les huiles de poisson fixaient une quantité notable de ce gaz. En même temps, l'odeur nauséabonde caractéristique diminuait considérablement. L'intérêt de l'opération était de rendre les huiles utilisables en savonnerie. Deux causes malheureusement condamnèrent le procédé. D'abord la légère odeur qui subsiste présente des inconvénients sérieux. De plus, sous l'influence de l'effluve électrique, les molécules se condensent, le liquide s'épaissit au point de se transformer en une masse insaponifiable.

L'épaississement graduel qui était un défaut, au point de vue saponification, fut utilisé avec succès cette fois pour la préparation d'un produit qui, pour le compoundage des huiles minérales, offre des avantages considérables. En particulier, celui d'améliorer notablement la courbe de viscosité. Le point de congélation du mélange est abaissé et il se fluidifie

moins par élévation de la température. C'est par l'introduction graduelle de petites quantités d'huile minérale dans l'appareil au moment opportun que l'on prépare le produit en question.

L'action prolongée de l'effluve électrique fournit ainsi un produit très épais, composé en partie d'huile végétale ou animale et minérale. Il fut nommé Electrion, à cause de son origine : électron et ions. Par suite de diverses circonstances, le nom de Voltöl fut adopté en Allemagne.

Nous voilà bien loin de l'hydrogène actif, point de départ de ces découvertes.

Pour toutes les recherches qui précèdent, des appareils de productivité sans cesse croissante furent utilisés. La progressivité fut de 1, 200, 2.000, 6.000, 30.000 et 150.000. Les expériences faites sur une grande échelle aboutirent aux conclusions suivantes :

1° Les quantités transformées par unité d'énergie croissent jusqu'à une certaine limite, lorsque la pression décroît.

2° Les quantités transformées par unité d'énergie croissent avec l'intensité efficace du courant.

3° Les quantités transformées par unité d'énergie croissent avec la périodicité. Les expériences ont été faites avec des courants de 50, 150 et 500 périodes.

4° Le cos φ tend vers l'unité à mesure que la pression diminue et que la périodicité augmente.

La science bénéficie parfois à son tour d'expériences faites sur une grande échelle, en fixant l'attention sur certains phénomènes.

Le rapport intime entre les transformations et l'intensité du courant m'avait souvent frappé. Je crus intéressant de faire à ce sujet des recherches de laboratoire aussi précises que possible, mais en évitant l'emploi de corps organiques complexes.

J'opérai donc sur des oxydes métalliques et certains composés halogènes. J'étudiai la réduction de ces corps par l'hydrogène influencé par l'effluve électrique. J'en arrivai aux conclusions suivantes :

Si l'on opère à des pressions assez faibles de l'ordre de grandeur du millimètre, le rapport entre l'ionisation décelée par la conductivité et le nombre de molécules combinées tend vers l'unité. Les électrons agissent en général comme les ions, sauf dans le cas de certains composés binaires où leur action semble parfois réduite de moitié. Les électrons agissent peut-être en saturant les atomicités métalliques et en libérant ainsi les composés négatifs. Les tentatives pour vérifier cette hypothèse n'ont pas abouti jusqu'à présent. Il semble aussi que de l'hydrogène activé et non ionisé joue un rôle. Dans le cas des mélanges gazeux, comme par exemple la combinaison graduelle de l'oxygène et de l'hydrogène à pression très réduite ou de l'azote et de l'hydrogène, les phénomènes sont plus compliqués, parce qu'il faut tenir compte de l'ionisation dans toute la masse.

On peut l'apprécier d'une façon grossière en supposant la colonne

gazeuse divisée en un certain nombre de tranches en prenant comme base du calcul les distances correspondant au potentiel d'ionisation et en supposant dans chaque tranche un nombre d'ions correspondant à l'intensité du courant. On trouve encore, dans le cas des gaz à pression réduite, un parallélisme frappant entre la conductivité et les quantités combinées

J'en arrive à une réflexion finale. Pourquoi se fait-il que les applications industrielles de l'effluve électrique sont rares? Peut-on croire à l'avenir d'autres applications? Il existe, à mon avis, deux inconvénients à l'emploi de l'effluve électrique. Le premier, c'est que les produits obtenus sont en général complexes ; le second, c'est que la production des ions exige des tensions relativement élevées. Cependant, il n'est pas défendu d'espérer une action favorable d'effets catalysateurs, comme par exemple le rayonnement de certains gaz ou de vapeurs présents dans l'effluve.

Me voici arrivé au terme de l'exposé dont j'ai défini le but au début. Comme on a pu le voir, des études purement scientifiques ont conduit à une application industrielle bien imprévue. Ce fut le résultat de circonstances fortuites, de rapports et de conversations avec des personnalités diverses. Si d'une part, il est souhaitable que chacun reste dans la voie de sa vocation, le savant dans son laboratoire, l'industriel dans son usine, il est aussi désirable que des contacts s'établissent entre des personnalités de culture différente. Une collaboration bien comprise pourra avoir les effets les plus heureux sur les progrès de la science et de l'industrie, en faisant envisager les problèmes sous des aspects nouveaux.

EXPOSÉ DE TRAVAUX SUR LA POLARISATION ÉLECTRIQUE

par J. ERRERA,

Professeur à l'Université de Bruxelles

Parmi les sujets que nous avons traités depuis quelques années dans le laboratoire de chimie-physique de la Faculté des sciences appliquées de l'Université de Bruxelles, nous nous permettrons de vous exposer un ensemble de recherches sur la polarisation électrique des milieux matériels sous l'influence du champ des ondes électromagnétiques (1) Cette polarisation, ou moment électrique par unité de volume, entraîne une variation de la vitesse de phase des ondes électromagnétiques, variation qui a été mesurée expérimentalement par des déterminations de p. i. s. (ε) et d'indice de réfraction (n).

L'onde électromagnétique se propage dans le vide avec sa vitesse de phase de 300.000 kilomètres par seconde quelle que soit sa fréquence. Dans un milieu matériel, cette vitesse est diminuée et dépend de la fréquence. La cause de cette diminution est la polarisation du milieu matériel lui-même, donc de ses éléments constitutifs. Pour employer une image schématique, les électrons qui gravitent autour du noyau de l'atome auront leurs orbites déformés par le champ incident, d'où une polarisation électronique P_E ; les mouvements de vibration des atomes, ions ou radicaux à l'intérieur de la molécule, seront modifiés, d'où une polarisation atomique P_A; pour les molécules il faudra distinguer deux cas, celui des molécules non polaires et celui des molécules polaires. Dans les molécules polaires telles que H^+Cl^-, il y a un moment électrique permanent du fait que les centres de gravité des charges + et des charges − ne coïncident pas. Ce moment existe indépendamment du fait de la polarisation du milieu par l'onde incidente : il ne viendra l'augmenter que pour une part qui sera la polarisation due aux dipoles permanents (P_p). Les molécules non polaires n'ont pas de moment électrique permanent, soit que les atomes soient à l'état neutre et liés par des liaisons homopolaires, comme pour H^2, soit que les barycentres des charges + et − coïncident comme dans $C\,Cl^4$. Pour les molécules non polaires le moment électrique sera seulement induit, c'est-à-dire qu'il disparaîtra avec la disparition du champ incident, tandis que pour les molécules polaires, il y aura la somme d'un moment induit provoqué par les électrons et les atomes et d'un moment permanent dû aux dipoles permanents.

Faisons varier la fréquence d'une onde électromagnétique incidente, depuis le visible jusqu'au hertzien, et occupons-nous de ce qui se passe

en dehors des zones d'absorption. La vitesse de l'onde dans le visible est modifiée par les causes dues aux déformabilités électroniques ; dans l'infrarouge lointain, la fréquence s'étant abaissée la cause précédente ne joue pas seule et il s'ajoute des effets dus aux vibrations des atomes, ions ou radicaux ; dans le hertzien, pour les milieux polaires, vient encore s'ajouter l'appoint des dipoles permanents moléculaires qui contribuent à diminuer la vitesse de l'onde électromagnétique.

Dans les corps non polaires la vitesse de l'onde électromagnétique (toujours en dehors des zones d'absorption), est sensiblement la même, quelle que soit la fréquence, dans tout le domaine compris entre la fin du visible et le hertzien. C'est ce qui s'exprime par la relation fondamentale de Maxwell

$$\varepsilon = n^2$$

Il en résulte que pour ces milieux l'influence des mouvements de vibration des atomes, ions ou radicaux (P_A) est très minime comparée à celle des mouvements électroniques (P_E).

Il existe deux grandes séries d'exceptions à l'égalité de Maxwell. La première a été expliquée par DEBYE [2] qui a introduit la notion du dipole permanent et par suite la différenciation justifiée des molécules en polaires et non polaires. Avec des molécules polaires, ε peut être plusieurs dizaines de fois plus grand que n^2. La polarisation totale est due à la somme de P_E et de P_p la valeur de P_A étant le plus souvent très faible. Dans la seconde série d'exceptions, la relation de Maxwell ne représente pas non plus les faits : ε peut aussi être un très grand nombre de fois plus grand que n^2 mais la cause ne peut-être imputée aux dipoles permanents. En effet, comme nous le verrons, il s'agit de mesures de p.i.s. de solides cristallins et la molécule est alors séparée en ses ions. La cause de l'exaltation de ε réside dans les mouvements de vibration des ions. La polarisation totale dans ce cas est formée d'une P_E et d'une P_A notable.

Nous allons d'abord rapidement résumer les faits expérimentaux que nous avons établis et qui se rapportent aux phénomènes dus aux dipoles permanents.

Le premier exemple caractéristique qui ait été donné pour contribuer à établir la théorie de Debye des dipoles permanents, est l'étude de l'influence de la structure moléculaire sur le caractère dipolaire d'isomères éthyléniques [3]. Il s'agissait de dérivés dihalogénés de l'éthylène. Dans la forme cis les centres de gravité des charges + et − ne coïncident pas; il fallait de ce fait s'attendre à un moment électrique permanent dont la présence a été confirmée par l'expérience. Dans la forme trans au contraire qui est composée des mêmes atomes portant les mêmes charges mais où les centres de gravité des charges coïncident, il n'y a pas de moment électrique.

Nous voyons ainsi comment l'étude des moments électriques permet de donner des indications sur la structure des molécules. En effet, l'existence d'un moment électrique permanent, lorsque l'on connaît le signe de la charge électrique des atomes constituants, permet de déduire leur

place dans la molécule. Inversement si les atomes sont localisés dans la molécule par des arguments chimiques, par exemple, on peut obtenir des indications sur le signe de la charge d'un des atomes constituants. C'est ce qui a été fait pour un dérivé dihalogéné de l'éthylène, le chloro-iodo-éthylène, où l'iode semble avoir une charge positive [4]. Dans ce cas, la forme trans doit avoir le moment électrique le plus élevé puisque le chlore négatif est alors plus éloigné de l'iode positif, tandis que la forme cis doit avoir un moment plus faible, les deux atomes étant plus rapprochés. Le résultat doit être inverse de celui où les deux substituants sont identiques et de même charge : c'est en effet ce que les expériences ont prouvé.

D'autre part, si l'existence du moment électrique permanent et l'exaltation de ε qui en résulte sont bien uniquement une conséquence de la place occupée par les atomes dans la molécule, il faut que si l'on élimine l'influence des dipoles permanents dans un isomère possédant un moment électrique, on retrouve pour celui-ci le p. i. s. de l'autre isomère. C'est ce qui a été fait en congelant les dérivés éthyléniques dichlorés et dibromés cis; les dipoles permanents étaient ainsi bloqués; ils ne pouvaient plus contribuer à la polarisation du milieu qui devenait semblable à celle des dérivés trans correspondants.

Comme second exemple d'influence de la structure moléculaire sur le moment électrique, nous parlerons des dérivés dihalogénés du benzène [5]. Il a été montré que les dérivés ortho, où les deux halogènes chargés négativement sont les plus proches, avaient un moment électrique élevé, les dérivés méta un moment électrique inférieur et enfin les dérivés para où les deux substituants négatifs sont opposés l'un à l'autre dans le noyau benzénique, ont un moment électrique nul, la molécule étant non polaire.

La comparaison du moment électrique de certains composés de constitution très semblable, peut donner, en plus, un aperçu de l'état de déformation de la molécule. Ainsi pour les dérivés disubstitués du benzène, on admet que les deux substituants ortho sont à 60°, les deux méta à 120° l'un de l'autre. Dans le cas de deux substituants identiques et ayant même charge électrique, le rapport du moment électrique du dérivé ortho au dérivé méta, devrait être toujours le même et valoir $\sqrt{3}=1,73$. Or, pour l'ortho-dichloro-benzène, il a été trouvé comme valeur 1,65 pour le diiodobenzène 1,31 ; les autres substituants halogénés donnant des valeurs intermédiaires. Ce rapport semble indiquer que la déformation du noyau benzénique va en croissant avec le poids atomique des substituants. L'étude des spectres d'absorption ultra-violets de ces mêmes corps à l'état de vapeur (fait en collaboration avec Victor Henri), confirme quantitativement la chose) [6].

La valeur du moment électrique d'une molécule est fonction du groupement polaire (atome ou radical) qu'elle contient. C'est ainsi qu'en collaboration avec Miss Sherrill [7], toute une série de dérivés en C^7 à chaîne droite ont été étudiés en faisant varier la position du groupement polaire dans la chaîne. Ce sont les divers heptanols, les cétones, l'aldé-

hyde, et la série des composés bromés, chlorés et iodés. On a ainsi pu établir la valeur caractéristique du moment de ces divers groupements.

Nous venons de voir que certaines molécules avaient un moment électrique permanent. La valeur de ce moment est de l'ordre de 10^{-18} ce qui correspond bien à ce qu'il fallait prévoir puisque le moment est le produit de la charge par la distance et que les distances atomiques sont de l'ordre de 10^{-8} et la charge élémentaire de l'ordre de 10^{-10}. Mais en passant à l'étude de milieux à l'état de division colloïdale, là où les dimensions des particules élémentaires sont plusieurs centaines de fois plus grandes, il a été trouvé pour le cas des solutions colloïdales d'anhydride vanadique, des moments électriques qui sont aussi plusieurs centaines de fois plus forts que ceux des molécules [8]. Et ce n'est pas là le seul intérêt que présente l'étude du pouvoir i. s. de ces sols de V^2O^5. En dehors de sa valeur très élevée le p. i. s. de ces sols varie avec la fréquence dans le domaine hertzien : pour des fréquences supérieures à 10^6 soit de l'ordre de 300 mètres, les dipoles colloïdaux n'ont pas le temps de suivre les inversions du champ. Au fur et à mesure que la fréquence diminue, le p. i. s. augmente pour atteindre une valeur de saturation, toutes les particules étant orientées pour les longueurs d'onde de l'ordre de 100 kilomètres. D'autre part, plus la force directrice qui influe sur les particules sera grande, plus sera grand le nombre de particules orientées et plus la polarisation pour une fréquence donnée sera élevée. Cette variation du p. i. s., qui ne se remarque pas pour les corps à l'état de division moléculaire, est un phénomène curieux qui peut être comparé à la variation de la susceptibilité magnétique avec l'intensité du champ magnétique pour les corps ferromagnétiques.

Enfin, pour terminer l'exposé de la première série d'exceptions à la relation de Maxwell, citons l'étude du moment électrique de certains cristaux liquides qui a été entreprise pour savoir s'il fallait attribuer l'anisotropie optique de ces milieux aux molécules elles-mêmes ou à des agrégats de dimensions colloïdales [9].

Pour étudier la seconde série d'exceptions à l'égalité de Maxwell, exceptions provoquées par la vibration des ions, nous avons déterminé le

TABLEAU I

$$\frac{\varepsilon - n_0^2}{\varepsilon} \cdot 10^3$$

	F.	Cl.	Br.	J.
Li	792	757	749	678
Na	645	596	568	551
K	698	544	527	466
Rb	674	581	504	464

p.i.s. d'une série de composés chimiques simples, de la forme AX, à l'état solide ([9a]). Ces corps cristallisent dans le réseau ionique cubique du type Na Cl, pour lequel le nombre des coordinations est égal à 6. Ce sont les composés halogénés (F Cl Br I) des métaux alcalins (Li Na K Rb). La première projection, qui donne les valeurs de $\frac{\varepsilon - n_0^2}{\varepsilon}$ fait connaître la partie de ε due aux vibrations des ions et celles dues aux déformations électroniques ([10]). On voit que la partie due aux mouvements de vibration des ions, lorsque le cation reste constant, diminue lorsque le nombre atomique de l'anion augmente. A anion constant, nous retrouvons cette régularité pour les composés du Br et de l'I, mais non pour ceux du F et du Cl. Remarquons enfin que les vibrations ioniques jouent un rôle maximum pour LiF et minimum pour RbI et ses voisins immédiats.

Pour interpréter ces résultats, il faut se rappeler les travaux de Fajans et ses collaborateurs ([11]) et de V.-M. Goldschmidt ([12]). Les ions étudiés sont tous monovalents. La déformabilité électronique augmente régulièrement, à cation constant, au fur et à mesure que le nombre atomique et la distance entre les ions augmentent. Mais ces deux facteurs de déformabilité et de distance ont une influence opposée sur les mouvements de vibration de l'ensemble de l'ion dont l'énergie sera d'autant plus forte que les ions sont plus rigides et plus rapprochés.

La connaissance de $\varepsilon - n^2$ ne donne pas seulement des relations avec les données cristallographiques de structure et la déformabilité électronique des ions, mais permet aussi la détermination d'une série de grandeurs thermodynamiques.

En appliquant la théorie des réseaux de Born ([13]) et en partant de cette donnée expérimentale, on peut calculer la fréquence propre infra-rouge caractéristique des divers sels étudiés et déterminer le facteur p de la partie infra-rouge de la formule de la dispersion, p d'après la théorie quantique de la dispersion détermine la probabilité de passage d'un état stationnaire à un autre, un passage qui a pour conséquence l'émission de la radiation de la fréquence envisagée. Le tableau suivant donne les fréquences propres dont on constate la progression régulière de la valeur avec le nombre atomique des constituants.

Tableau II

λ_0 en μ

F.	Cl.	Br.	J.
(30)	(41,2)	45,4	(59)
(45,5)	62,2	75,8	88,2
53,4	74,4	93,5	108,7
(70)	100	125,5	145,6

Connaissant cette fréquence propre infra-rouge, en appliquant une correction due à Havelock [14], on peut en déduire la valeur de la fréquence des rayons restants caractéristiques appelés aussi rayons de Rubens. La comparaison avec les valeurs expérimentales déjà déterminées pour certains de ces sels donne une bonne concordance, ce qui fait que l'on peut supposer que les valeurs déduites par le calcul pour dix sels non mesurés, pourront être confirmées par l'expérience.

La connaissance de la valeur de la fréquence propre infra-rouge permet le calcul de la chaleur spécifique, en appliquant les formules d'Einstein ou de Debye ou la combinaison des deux, et de la température de fusion en appliquant les raisonnements de Lindemann ou mieux de Braunbeck. L'accord des chiffres ainsi trouvés avec l'expérience est également satisfaisant et sera exposé dans un travail ultérieur.

Enfin, l'étude des exceptions à relation de Maxwell par la détermination des p. i. s. a également permis d'effectuer un certain nombre de travaux se rapportant à l'étude physico-chimique des liquides et au passage de l'état liquide à l'état solide.

1° L'étude de la polarisation des milieux liquides [15] a permis de définir deux sortes d'associations moléculaires : l'association dipolaire provoquée par les forces électrostatiques que l'on peut comparer à celles agissant entre les ions dans un réseau solide et qui trouvent leur origine dans les dipoles permanents des molécules. Ces forces d'association sont fonction de la grandeur du moment électrique, de sa situation dans la molécule ainsi que de la forme de la molécule elle-même. La seconde espèce d'association moléculaire est l'association non polaire des molécules n'ayant pas de dipoles permanents. Elle est provoquée par des forces qui ont un moins grand rayon d'action et que l'on peut comparer aux forces de van der Waals et aux forces d'échange par lesquelles s'explique la formation des molécules homopolaires. Cette classification de l'association moléculaire en deux catégories permet l'explication de toute une série de phénomènes de viscosité, de tension superficielle, d'azéotropisme de mélanges binaires et en plus elle permet dans certains cas, de mesurer quantitativement l'association.

2° Disons, pour finir, quelques mots des expériences se rapportant au passage de l'état liquide à l'état solide.

Nous avons déjà dit que si l'on mesure le p. i. s. de milieux dont les molécules sont polaires à l'état liquide, on constate en se plaçant à l'état solide à quelques dizaines de degrés du point de fusion et en utilisant des fréquences suffisamment élevées, que le p. i. s. et la polarisation molaire sont beaucoup plus petits à l'état solide qu'à l'état liquide. Tout se passe comme si les dipoles permanents étaient bloqués et le p. i. s. que l'on trouve ainsi, appelé « p. i. s. propre du solide » est provoqué seulement par la somme des $P_E + P_A$ à l'exclusion de P_p.

Dans les solides provenant de liquides non polaires, on remarque au contraire que la polarisation molaire du solide est très légèrement supérieure à celle du liquide ; la solidification est ainsi un moyen de diffé-

renciation entre molécules polaires et non polaires, qui a été utilisée dans un travail sur le benzène et le cyclohexane (16).

Si au lieu de mesurer le p. i. s. loin du point de fusion et à haute fréquence, on le détermine au voisinage du point de fusion et en faisant varier la fréquence entre un million et cinq cents environ, on constate qu'à l'état solide certains milieux ayant des dipoles permanents à l'état liquide ont une dispersion assez grande au voisinage du point de fusion pour les grandes longueurs d'onde. Nous donnons comme exemple typique la courbe de dispersion de la glace à différentes températures (17).

Ces résultats expérimentaux ont été confirmés dans la suite par d'autres auteurs. Debye (18) a publié une théorie pour expliquer cette dispersion dans les solides dans le voisinage du point de fusion. Il considère qu'au voisinage du point de fusion pour les cas étudiés, il existe encore un certain nombre de molécules, environ une sur 10 millions qui peuvent suivre les inversions du courant et il démontre que cela suffit pour provoquer les effets mesurés. Les chiffres obtenus en partant de cette théorie de Debye concordent bien avec l'expérience.

Si l'on étudie la variation de p. i. s. non au voisinage du point de fusion comme pour la glace, mais au moment même de la solidification, on voit que pendant la solidification, dans le cas du $CH^3 C'OOH$ pour les basses fréquences, le p. i. s. prend une valeur triple de celle à l'état liquide, tandis qu'aux hautes fréquences pendant la solidification, il y a un abaissement continu du p. i. s. sans que celui-ci dépasse celui du liquide (19).

Les substances qui présentent ce phénomène pendant la solidification traversent peut-être un état d'association colloïdale avant d'arriver à l'état solide continu. Ce fait serait comparable à la formation de gouttelettes ayant des dimensions colloïdales et donnant lieu au phénomène d'opalescence critique remarqué dans certaines conditions pendant la liquéfaction d'un gaz avant d'arriver à l'état liquide homogène. On peut se demander, si ces édifices qui se forment lors de la solidification ne traversent pas l'état de division colloïdale pour grandir et constituer des édifices dont les dimensions sont données par les plans de clivage et correspondent à la structure en « mosaïque ».

En résumé, l'ensemble de nos travaux sur la polarisation que nous venons d'exposer montre que l'étude de la polarité des molécules a permis de tirer des conclusions concernant la structure moléculaire : place des atomes dans la molécule et signe de la charge de ces atomes constituants. La valeur quantitative du moment électrique d'un série de groupements polaires a pu être établie et dans le cas de solutions colloïdales des moments très élevés ont été observés. Pour ces mêmes milieux colloïdaux, on a pu déterminer le temps de relaxation des dipoles et la variation du p. i. s. avec l'intensité du champ qui est un phénomène observé dans le domaine de la constante diélectrique à mettre en parallèle avec le ferromagnétisme.

La seconde série d'exception à la loi de Maxwell donne des relations

entre la grandeur de l'énergie due à la vibration des ions et leur déformabilité électronique ainsi que les données cristallographiques. La valeur de la fréquence propre infra-rouge tirée de ces mesures expérimentales de p. i. s. et d'indice permet de calculer la fréquence des rayons restants, les valeurs des chaleurs spécifiques et des températures de fusion qui sont en accord avec l'expérience. La comparaison de ces fréquences propres avec celles que Born calcule d'après sa théorie électrostatique de la cohésion permet de déterminer le facteur p du terme infra-rouge de la formule de la dispersion qui dans la théorie quantique a un sens précis.

La notion d'association moléculaire dipolaire et non polaire permet d'interpréter une série de phénomènes physico-chimiques des milieux à l'état liquide.

Enfin, l'étude du p. i. s. au voisinage du point de fusion, dont Debye a donné la théorie ainsi que l'observation de p. i. s. pendant la solidification, permettent d'approcher le mécanisme de ce changement d'état.

(1) J. Errera, *Polarisation diélectrique* ; Presses Universitaires de France, Paris (1928), 172 pages.

(2) P. Debye, *Physikal. Zeitschr.*, **13**, 97 (1912). — *Handbuch der Radiologie*, **6**, 597 (1925).

(3) J. Errera, *Journ. de Phys.*, **6**, 390 (1925).

(4) J. Errera, *Phys. Zeitschr.*, **29**, 689 (1928).

(5). J. Errera, *C. R. Acad.*, Paris, **182**, 1623, (1926), *Phys. Zeitschr.*, **27**, 764 (1926).

(6) J. Errera, et V. Henri, *Journ. de Phys.*, **8**, 205 et 249 (1928).

(7) J. Errera et M. L. Sherrill, *Journ. Am. Chem. Soc.*, **52**, 1993 (1930).

(8) J. Errera, *Journ. de Phys.*, **3**, 401 (1922) ; **4**, 225 (1923) ; **9**, 307 (1928).

(9) J. Errera, *Phys. Zeitschr.*, **29**, 426 (1928).

(9a) J. Errera, *Zeitschr. für Elektrochem.* **36**, 818 (1930). Dans un travail antérieur (*C. R. Acad.)* Paris, **184**, 455, (1927) nous avions étudié la variation du p. i. s. des poudres cristallines avec la compacité ce qui nous a amené à utiliser pour ces mesures une méthode d'immersion.

(10) Les valeurs de n_0 ont été calculées en partant des mesures expérimentales de K. Spangenberg, *Zeitschf. für Kristall.*, **57**, 494 (1922).

(11) Fajans et Joos, *Zeitschr. für Phys.*, **23**, I (1924).

(12) V. M. Goldschmidt, *Trans. of Faraday Soc.*, **25**, 253 (1929).

(13) M. Born, *Atomtheorie des festen Zustandes* ; Teubner Leipzig, 621 (1923).

(14) J. T. Havelock, *Proc. Roy. Soc. A.*, **105**, 498 (1924).

(15) J. Errera, *Zeitschr. für Phys. Chem.*, **138**, 332 (1928) ; **140**, 273 (1929). — *Leipziger Vorträge*, 25 et 105 (1929), Hirzel, Leipzig. — *Réunion intern. de Chim. Phys. Paris*, 233 (1928) ; Presses Univers. France, Paris.

(16) J. Errera, *Bulletin Cl. Sciences, Acad. Roy. de Belgique*, 327 (1926).

(17) J. Errera, *Journ. de Phys.*, **5**, 304 (1924).

(18) P. Debye, *Polare Molekeln* ; Hirzel, Leipzig, 118 (1929).

(19) J. Errera, *Trans. Faraday Soc.*, **24**, 162 (1928).

SUR LES CAS D'IONISATION NE COMPORTANT PAS DE COURANT DE SATURATION

par A. PINKUS,

Professeur à l'Université de Bruxelles

---

1. — Considérons un gaz placé entre les armatures d'un condensateur et soumis à une action ionisante invariable. Etablissons entre les armatures une différence de potentiel créant un champ de E volts par cm., supposé uniforme dans tout le volume du condensateur. On observe un courant d'ionisation dont l'intensité i est fonction de E.

2. — Augmentons progressivement le gradient de potentiel E. On constate généralement que i croît d'abord à peu près proportionnellement à E, ensuite de plus en plus lentement et prend finalement une valeur constante correspondant au *courant de saturation.* L'intensité du champ est alors suffisante pour éliminer tous les ions à mesure qu'ils se forment. Le courant de saturation se maintient invariable aussi longtemps que E reste inférieur au gradient de potentiel produisant l'ionisation par chocs.

3. — Désignons par E_s l'intensité du champ nécessaire à la saturation et par E_i l'intensité amenant l'ionisation par chocs. La partie horizontale de la courbe $i=f$ (E) ne peut évidemment être observée que si l'on a :

$$E_s < E_i.$$

Lorsqu'on opère sous la pression atmosphérique et à température peu élevée, E_i est de l'ordre de 10.000 volts par cm. La condition $E_s < E_i$ est alors satisfaite dans tous les cas où l'ionisation des molécules résulte de l'arrachement des électrons sous l'action d'un bombardement corpusculaire ou d'une radiation électromagnétique de grande fréquence. En effet, l'expérience montre que dans ces cas E_s ne dépasse pas quelques centaines de volts par cm.

Par contre, il est impossible d'atteindre la saturation si l'ionisation résulte de la rupture des molécules aboutissant à des ions juxtaposés, ce qui arrive régulièrement au cours des transformations chimiques en phase gazeuse. Nous verrons que E prend alors des valeurs considérables, de beaucoup supérieures à 10.000 volts: cm.

4. — Résumons d'abord les résultats expérimentaux obtenus dans ce domaine [1] :

(1) A. Pinkus, *J. Ch. phys.*, **16**, 201 (1918) et **18**, 412 (1920) ; *Helv. Ch. Acta*, **1**, 141 (1918). — A. Pinkus et D. de Schulthess, *J. Ch. phys.*, **18**, 366 (1920) ; *Helv.*

1° L'ionisation accompagnant les réactions en phases gazeuses a été constatée *dans tous les cas étudiés* : synthèse du chlorure de nitrosyle, oxydation du bioxyde d'azote, réaction entre les oxydes d'azote et l'ozone, décomposition du peroxyde d'azote, de l'anhydride nitrique et de l'ozone. Les expériences ont été conduites à la température ordinaire ou à des températures peu élevées, inférieures à 400° C., et on a vérifié dans chaque cas l'absence de tout effet ionisant d'origine physique. *L'ionisation observée résulte donc uniquement de la rupture des liens entre les atomes des molécules réagissantes.*

2° Toutes choses égales d'ailleurs, *l'intensité du courant d'ionisation est à peu près la même quel que soit le signe du champ extracteur.*

3° Pour un champ E donné, *l'intensité i du courant est toujours proportionnelle au nombre* m *de molécules transformées par unité de temps et de volume.*

4° Pour *m* donné, *i croît proportionnellement à* E, même dans des champs de l'ordre de 3.000 volts par centimètre ([2]).

Pour fixer les idées, indiquons que dans les expériences de R. Ruyssen relatives à la destruction thermique de l'ozone (240° C.), la décomposition de $1,3 . 10^{-6}$ mol. – gr. $= 8,0 . 10^{17}$ molécules d'ozone par seconde, dans un volume de 20 cm^3 et un champ de 845 volts par cm., donnait naissance à un courant d'ionisation de $1,1 . 10^{-11}$ amp., correspondant à la captation de $6,9 . 10^7$ charges élémentaires par seconde, positives ou négatives suivant le signe du champ extracteur. Le courant d'ionisation spontané, mesuré dans les mêmes conditions dans l'oxygène pur, ne dépassait pas 2.10^{-15} ampère.

5. — Ces résultats conduisent à admettre que toutes les réactions indiquées plus haut comportent une *étape ionisante* aboutissant à la formation passagère d'ions positifs et négatifs portant la même charge et doués de mobilités très voisines. Dans le cas de la décomposition de l'ozone, on aurait, par exemple :

$$2O_3 \longrightarrow 2O_2 + O^+ + O^- \text{ (étape ionisante)};$$

$$O^+ + O^- \longrightarrow O_2 \text{ (étape de recombinaison)},$$

Ch. Acta, **4**, 288 (1921). — A. K. Brewer et F. Daniels, *Trans. Am. Electroch. Soc.*, **44**, 256 (1923). — A. Pinkus, *J. Ch. phys.*, **21**, 71 (1924). — A. K. Brewer, *J. Am. Ch. Soc.*, **46**, 1403 (1924) ; *Phys. Rev.*, **26**, 633 (1925) ; *J. Phys. Ch.*, **32**, 1005 (1928). — A. Pinkus et L. Henry, *Bull. Soc. Ch. Belg.*, **37**, 285 (1928). — A. Pinkus et R. Ruyssen, *ibid.*, 304. — Voir aussi : A. Pinkus, *Troisième Conseil de Chimie Solvay, Bruxelles* (1928), 375-382.

([2]) Dans une série d'expériences de R. Ruyssen relatives à la décomposition de l'ozone, *i* a d'abord varié moins vite que E ; mais la courbe $i = f$ (E) est redevenue presque linéaire entre 1300 et 3200 volts par cm. Remarquons que l'augmentation linéaire de *i* avec E a été observée jusqu'à 3000 volts:cm. par Krüger et Utesch, *Ann. d. Ph.*, **78**, 113 (1925), et jusqu'à 6200 volts:cm. par A. L. Marshall, *J. Am. Ch. Soc.*, **50**, 3178 (1928), dans l'étude de la formation de l'ozone sous l'action des rayons cathodiques.

ce qui rend bien compte du fait que l'intensité du courant ne dépend pas du signe du champ extracteur et qu'elle varie proportionnellement au nombre de molécules transformées. Nous allons voir à présent que cette théorie explique également la faible valeur du rapport $n:m$ du nombre d'ions captés au nombre de molécules transformées, ainsi que l'absence du courant de saturation.

6. — Assimilons les ions à des sphères électrisées. La force d'attraction électrostatique qui relie les ions d'une même paire, au moment de leur formation, est donnée par la loi de Coulomb :

$$f = \frac{(pe)^2}{r_0^2} \text{ dynes} \qquad (1)$$

où e est la charge élémentaire en u. e. s. C. G. S., p le nombre de charges portées par chaque ion et r_0 la distance en centimètres entre les centres de deux ions jumeaux au moment de leur formation.

D'autre part, l'action exercée sur chaque ion par un champ électrique de E volts par centimètre s'exprime par la relation :

$$\varphi = \frac{p\,e\,E}{300} \text{ dynes} \qquad (2)$$

La séparation des deux ions jumeaux exige :

$$\varphi > f\,;\; E > \frac{300\,e\,p}{r_0^2} \text{ volts : cm.}$$

soit, en remplaçant e par sa valeur $4{,}8\,.\,10^{-10}$:

$$E > 14{,}4.10^{-8}.\ \frac{p}{r_0^2} \text{ volts : cm.} \qquad (3)$$

Il est logique d'admettre que la distance r_0 est de l'ordre d'un diamètre moléculaire. En posant $r_0 = 5.10^{-8}$ cm., on trouve comme condition de séparabilité des ions jumeaux :

$$E > 5{,}8\,.\,10^7 \text{ volts: cm. si } p=1$$

$$E > 1{,}2\,.\,10^8 \text{ volts: cm. si } p=2$$

La séparation et la captation des ions jumeaux exige donc en moyenne un champ de l'ordre de cent millions de volts par centimètre, ce qui explique l'impossibilité d'atteindre la saturation.

Pour que la séparation soit possible dans un champ de 1000 volts par centimètre, il faut, d'après (3), que les ions d'une même paire se trouvent déjà écartés l'un de l'autre à une distance :

$$r > \sqrt{\frac{14{,}4\,.\,10^{-8}\,p}{1000}} = 1{,}2\,.\,10^{-5}\,.\sqrt{p} \text{ cm.},$$

c'est-à-dire à une distance de plusieurs centaines de diamètres moléculaires. D'après (1), cet écartement préalable exige un travail :

$$w = \int_{r_0}^{r} \frac{(pe)^2}{r^2}\, dr = 2{,}3.10^{-19}.\ p^2 \int_{5,10^{-8}}^{1,2.10^{-5}\sqrt{p}} \frac{dr}{r} = 4{,}6.10^{-12}.p^2 - 1{,}9.10^{-14}.\,p\sqrt{p}\ ,$$

soit $4{,}6\,.\,10^{-12}$ ergs si $p=1$ et $1{,}8\,.\,10^{-11}$ ergs si $p=2$.

Ce travail peut être fourni aux dépens de l'énergie cinétique q_1 des molécules *actives* ayant donné naissance aux ions à séparer, et aux dépens de l'énergie q_2 libérée dans l'étape ionisante supposée exothermique.

La faible valeur du rapport n : m *du nombre d'ions captés au nombre de molécules transformées peut dès lors s'expliquer en admettant que* $q_1 + q_2$ *oscille autour d'une valeur moyenne inférieure à* w, de sorte que la séparation des ions jumeaux n'est possible que pour une très petite fraction des paires d'ions formés. On peut encore supposer que la distance initiale r_0 entre les ions d'une même paire varie entre certaines limites, ce qui revient à admettre des fluctuations du travail w au lieu des fluctuations de l'énergie utilisable $q_1 + q_2$.

7. — Reste à établir la relation entre le courant d'ionisation et l'intensité du champ extracteur.

Soient, à un instant donné :

m le nombre de molécules transformées par cm^3 et par seconde ;
k le nombre de molécules transformées donnant naissance à une paire d'ions ;
N_f le nombre de paires d'ions formées par cm^3 et par seconde ;
N_e le nombre de paires d'ions éliminées par cm^3 et par seconde ;
c le nombre de paires d'ions présents par cm^3 ;
α le coefficient de recombinaison des ions ;
β la fraction d'ions séparables ;
u_+ et u_- les mobilités des ions en cm.: sec. par volts: cm. ;
E l'intensité du champ en volts: cm. ;
v le volume en cm^3 de la chambre d'ionisation ;
l la distance en centimètres entre les électrodes ;
i le courant d'ionisation exprimé en nombre de paires d'ions captées par seconde.

Il vient, en négligeant la diffusion thermique des ions et en remarquant que la combinaison a lieu presque uniquement entre les ions d'une même paire :

$$N_e = \alpha\, c + \frac{i}{v}\ \cdot$$

On a, d'autre part, en remarquant que seuls les ions séparables contribuent au passage du courant :

$$\frac{i}{v} \quad c\beta\,(u_+ + u_-)\,\frac{\mathrm{E}}{l}\ ,$$

d'où :

$$\mathrm{N_e} = \frac{i}{v}\left[\frac{\alpha}{\beta}\,\frac{l}{(u_+ + u_-)}\cdot\frac{1}{\mathrm{E}} + 1\right]$$

et à l'état stationnaire :

$$\mathrm{N_e} = \mathrm{N_f} = \frac{m}{k}$$

$$\frac{i}{v}\left[\frac{\alpha}{\beta}\,\frac{l}{(u_+ + u_-)}\cdot\frac{1}{\mathrm{E}} + 1\right] = \frac{m}{k}. \tag{4}$$

Or, le coefficient de recombinaison α est très grand et la fraction d'ions séparables β très petite, car presque tous les ions jumeaux se recombinent aussitôt formés et ne sont pas séparables par le champ électrique. Le premier terme entre crochets est donc toujours très grand par rapport à l'unité, à moins de donner au gradient de potentiel E des valeurs considérables, et cela même si la distance l entre les électrodes est très faible, de l'ordre de quelques millimètres, et les mobilités très grandes, de l'ordre de quelques centimètres. L'équation (4) peut donc s'écrire :

$$i = \frac{\beta}{\alpha}\cdot\frac{(u_+ + u_-)\,m\,v}{k\,l}\cdot\ \mathrm{E}\ , \tag{5}$$

ce qui indique, conformément à l'expérience, une augmentation linéaire du courant d'ionisation i avec le gradient de potentiel E.

Remarquons pourtant qu'en toute rigueur le coefficient $\frac{\beta}{\alpha}$ pourrait lui-même dépendre de l'intensité du champ. Nous avons vu, en effet, que les ions d'une même paire ne deviennent séparables que s'ils réussissent à s'écarter l'un de l'autre à une certaine distance r, grâce à l'énergie cinétique dont ils disposent au moment de leur naissance. Or, les ions peuvent perdre leur énergie cinétique ou leur charge avant d'avoir atteint l'écartement critique r, par suite d'une collision avec une molécule neutre ou un ion libre. Comme les chances d'une telle collision diminuent avec r qui, d'après (3), varie en raison inverse de E, on devrait s'attendre à une augmentation de $\frac{\beta}{\alpha}$ avec E, c'est-à-dire, d'après (5), à une augmentation plus rapide de l'intensité du courant d'ionisation que du gradient de potentiel. Mais cette variation de $\frac{\beta}{\alpha}$ n'est possible que si le temps que mettent les ions jumeaux à s'écarter à la distance critique r est supérieur au temps moyen qui s'écoule entre deux chocs moléculaires, et cette condition n'est probablement satisfaite que dans des champs extrêmement faibles.

3e Section : Chimie

Président : M. P. Bruylants.
Secrétaire : M. A. Juliard.

Lundi 30 juin, à 9 h. 30.

M. F. Swarts : *L'activité du laboratoire de Chimie Générale de l'Université de Gand.*

M. G. Chavanne : *Sur un hydrocarbure de l'essence de résine et les 1.2 diméthyl-cyclopentanes stéréoïsomères.*

M. J. Timmermans : *Sur la correspondance entre antipodes de différentes substances optiquement actives.*

Mlle H. Van Risseghem : *Essais de préparation des isomères éthyléniques de l'hexène à partir du bromure de crotyle.*

M. J. Baudrenghien : *Recherches sur les hydrocarbures C_5H_{10} pentènes et diméthylcyclopropanes 1,2.*

M. I. Lebrun : *Solubilité de certains stéréoisomères éthyléniques dans des dissolvants eux-mêmes stéréoisomères éthyléniques.*

M. L. Navez : *Sur les couples de monochlorbutènes normaux stéréoisomères éthyléniques.*

M. H. Wuyts et Mlle A. Lacourt : *L'isomérisation des alcools au cours de l'éthérification* (communiqué par Mlle Lacourt).

Lundi 30 juin à 15 heures.

M. H. Wuyts : *Quelques recherches sur les dérivés sulfurés organiques.*

M. P. Bruylants : *L'isomérie éthylénique dans la série des nitriles et des amides aliphatiques.*

M. R. Breckpot : *Sur la préparation de quelques dérivés allyliques.*

M. E. Galand : *Etude sur les aminobutènes normaux.*

M. J. Verhulst : *Bijdrage tot de studie van de butenolen.*

M. J. Henry : *Contribution à l'étude des dérivés cyclopropaniques.*

M. G. Heim : *Dosage des nitriliques éthyléniques.*

Mardi 1er juillet à 9 h. 30.

MM. Huybrechts et M. Milliau : *Solubilité du phosphate bismuthique.*

M. L. Michiels : *Notice documentaire sur le genre d'activité de notre laboratoire de recherches.*

M. R. Goubau : *Overzicht der werken gedaan op het Laboratorium voor algemeene scheikunde der Gentsche Universiteit.*

M. A. Pinkus : *Recherches de Chimie analytique.*

M. P. De Ceuster :*De ketonsplitsingen tot onderzoek der affiniteitsbeneming.*

M. A. Castille : *Contribution à l'étude de la constitution de l'ergostérol.*

M. P. Putzeys : *Les coefficients de température de certaines électrodes de référence.*

M. L. Maricq : *Le dosage potentiométrique des composés réagissant avec l'iodomercurate potassique.*

M. H. Vogels : *Observations expérimentales sur l'emploi des électrodes d'antimoine.*

Mardi 1er juillet à 15 heures.

M. O. Dony-Hénault : *Sur l'activité du laboratoire de chimie de la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Bruxelles et sur le mécanisme de la réduction de l'oxyde de zinc.*

M. A. Gillet : *Sur l'existence d'un équilibre chimique dans l'autoxydation.*

M. J. Gillis : *Over het β-maltose anhydride : bereiding en smelpunt.*

M. A. Pinkus : *Etudes de mécanique chimique.*

Mlle L. de Brouckère : *L'adsorption des électrolytes par les surfaces cristallines.*

M. M. Beckers : *Recherches sur l'équation d'état des hydrocarbures paraffiniques gazeux.*

M. A. Juliard : *Réduction des oxydes métalliques par les gaz.*

Mercredi 2 juillet, à 9 h. 30.

(Séance commune avec la section de Physique.)

M. W. Mund: *L'action chimique des rayons alpha.*

M. J. d'Olieslager : *Sur l'équilibre radiochimique dans le système ammoniaque, azote et hydrogène.*

M. R. Gillerot : *La synthèse et la décomposition radiochimique de l'acide bromhydrique.*

M. L. Henry : *Action chimique des décharges électriques.*

L'ACTIVITÉ DU LABORATOIRE DE CHIMIE GÉNÉRALE

dirigé par F. SWARTS,

Professeur à l'Université de Gand

Ceux qui président à l'organisation de ce Congrès qui doit, en ces journées de Centenaire, célébrer l'activité scientifique de notre pays, m'ont demandé de résumer devant vous l'œuvre scientifique du laboratoire que je dirige.

Cette revue sera assez pauvre, en raison du petit nombre d'élèves que j'ai eus depuis que j'assume la direction du laboratoire de doctorat; de plus elle manquera de variété, car depuis près de quarante ans mes efforts et plus tard ceux de mes élèves et collaborateurs se sont essentiellement concentrés sur un même sujet, l'étude des composés organiques du fluor.

A l'époque où je m'initiais à la chimie, il n'était guère question du fluor dans les cours universitaires ; si l'étude des fluorures métalliques avait été poussée assez loin, celle des combinaisons organiques du fluor était à peine ébauchée : la deuxième édition du Beilstein n'en mentionne pas une douzaine.

Un champ presque vierge s'ouvrait à nous, d'autant plus intéressant à explorer que le fluor était, dans la famille des halogènes, un élément considéré comme aberrant. Une fois que nous y eûmes pénétré, nous n'en sommes que rarement sortis : la récolte était belle, tout au moins elle nous a semblé telle.

Nos premiers travaux ont porté sur les composés halogénés mixtes dérivant du méthane et de l'éthane, que nous avons obtenus par un procédé nouveau de fluoruration, consistant à faire agir le trifluorure d'antimoine sur un dérivé polyhalogéné en présence d'une petite quantité de brome ou de pentachlorure d'antimoine, lesquels agissent comme catalyseurs. Dans ce dernier cas, j'ai pu isoler et étudier le corps qui agit comme agent de fluoruration ; c'est le fluochlorure d'antimoine $SbCl_3F_2$.

Ce procédé, très facile et donnant des rendements presque théoriques, ne permet pas de remplacer la totalité du chlore ou du brome, tout au moins dans la série grasse, et ne réussit par conséquent que pour les dérivés polyhalogénés.

En associant à cette réaction une soustraction d'hydracide, suivie d'une addition de chlore ou de brome on peut, dans le nouveau composé plus chargé d'halogène, réaliser de nouvelles substitutions fluorées.

J'ai obtenu ainsi une quarantaine de dérivés fluochlorés ou fluobromés en C_1 et C_2, dont une dizaine d'éthyléniques, tandis que par des

soustractions convenables de molécules d'hydracide ou d'halogène je parvins à isoler C_2H_3F, $CH_2:CF_2$ et C_2HF_3.

Ce matériel assez riche permit de comparer entre eux le fluor et d'autres halogènes, non pas dans des composés différents, mais dans la même molécule, de juger de leur mobilité relative, de reconnaître leur influence réciproque.

D'autre part, à l'intervention du fluorure d'argent ou plus avantageusement du fluorure mercureux, dont j'ai introduit l'emploi, j'ai pu compléter quelque peu la série des fluorures aliphatiques et en préparer des quantités assez fortes pour permettre une purification sérieuse et assurer quelque valeur à leur étude physico-chimique.

C'est par cette méthode, appliquée à la bromacétine que j'obtins l'alcool monofluoré, tandis que l'alcool bifluoré a été préparé par l'action d'oxydes métalliques convenables en présence de l'eau sur le difluorbrométhane. Un certain nombre d'éthers-oxydes ont été obtenus par l'action d'alcoolates sur des dérivés bromo ou chlorofluorés.

Je ne suis pas encore parvenu à isoler l'alcool trifluoréthylique; les seuls alcools trifluorés que j'ai obtenus ont été préparés aux dépens du trifluoracétate d'éthyle par voie de synthèse.

C'est en vain que j'ai tenté jusqu'à présent d'isoler des aldéhydes fluorées; par contre la trifluordiméthyle-cétone a été isolée par moi-même, la difluordiméthyle-cétone par mon assistante, M[lle] Désirant.

J'ai réussi à obtenir quelques amines fluorées dans la chaîne hydrocarbonée : ce sont des dérivés polyfluorés des éthylamines et ils constituent le seul groupe d'amines halogénées stables de ce type; je possède des échantillons qui sont conservés intacts depuis vingt ans.

En appliquant la réaction de Claisen, j'ai pu isoler et faire l'étude de l'éther et de l'acide trifluoracétyle-acétique, ainsi que de quelques-uns de leurs dérivés; M[lle] Désirant fit l'étude correspondante de l'éther difluoracétyle-acétique.

Ces éthers, sous leur forme énolique, se comportent comme des acides forts. Leur dédoublement par hydrolyse a fourni les cétones correspondantes.

Au cours de ces recherches, j'ai réussi à démontrer le bien-fondé de l'interprétation que Claisen a donnée de la réaction qui porte son nom et à prouver l'inexactitude des théories de Lapworth et Michael.

Une partie importante de mes recherches a été consacrée aux acides acétiques fluorés, dont aucun n'était connu. J'ai fait l'étude des acides mono, di et trifluoracétiques, de l'acide bromfluoracétique et de la série complète des acides trihalogénés renfermant du chlore ou du brome à côté du fluor. Je ne saurais m'étendre ici sur les méthodes d'obtention de ces acides, qui sont assez variées; je dirai à titre d'exemple que l'acide bromfluoracétique a été préparé aux dépens de son bromure, obtenu lui-même par oxydation du dibromfluoréthylène $CBr:CHF$.

L'obtention d'un nombre assez important d'éthylènes polyhalogénés

m'avait en effet amené à compléter l'étude faite par Demole de l'oxydabilité curieuse par l'oxygène de ce type de combinaisons.

Notre laboratoire a également contribué à étendre nos connaissances sur les composés aromatiques fluorés. Il n'a pas été innové en matière de préparation des dérivés fluorés dans le noyau : nous avons usé de la méthode de diazotation en milieu fluorhydrique : elle a été mise au point dans les divers cas particuliers et permet d'atteindre fréquemment des rendements de 60 %. L'emploi de catalyseurs, tels qu'on en use dans la méthode de Sandmeyer-Gatterman s'est trouvé inopérant, fréquemment même il provoque une résinification totale.

Nous avons obtenu notamment ainsi le para et le métadifluor-benzène, les trois fluorphénols ou leurs éthers éthyliques, les fluoranilines, dont il fut préparé un certain nombre de dérivés par substitution. L'orthofluornitrobenzène, dont la préparation paraissait entourée de grosses difficultés, a été isolé pur et en quantité notable, ce qui permit de préparer quelques dérivés orthofluorés, malheureusement trop peu nombreux à cause des mauvais résultats que donne la diazotation des ortho-amines du fluor- et du difluorbenzène.

M. T. Van Hove a obtenu de la même manière l'ortho- et le parafluordiphényle. dont il a pu préparer un certain nombre de dérivés.

L'étude des nombreux composés fluorés dont je disposais a permis d'établir les caractéristiques du fluor dans ses combinaisons organiques.

Il ne serait pas possible, dans le temps dont je dispose, d'exposer les résultats obtenus au cours de ces longues recherches ; je tâcherai d'en résumer l'essence.

L'affinité du fluor pour le carbone est énorme, ce que démontre notamment la stabilité remarquable de la liaison covalentielle entre ces deux éléments. Dans les réactions dont les composés fluorés sont le siège il intervient cependant fréquemment une affinité assez puissante pour rivaliser avec celle du carbone pour le fluor, c'est celle de l'hydrogène.

Encore faut-il s'entendre. Les composés organiques du fluor présentent en général une résistance remarquable aux agents réducteurs et en particulier à l'hydrogène naissant. Par contre, le voisinage plus ou moins proximal de l'hydrogène dans la molécule même tend à provoquer au sein de celle-ci la formation d'acide fluorhydrique.

Toute l'étude des dérivés organiques montre que l'atome de fluor n'y possède qu'un champ extérieur très faible, tandis qu'il manifeste un champ intérieur fort intense lequel, selon les circonstances, augmente ou diminue la stabilité de l'édifice moléculaire. A titre d'exemples, les fluorures d'alkyles secondaires se décomposent à la distillation en acide fluorhydrique et en éthylénique, ce que ne font pas les chlorures correspondants, dont le point d'ébullition est cependant plus élevé. D'autre part, les composés polyhalogénés, tel C_2Br_4FH, sont beaucoup moins aisément dissociables par l'action de la chaleur que les combinaisons non fluorées correspondantes comme $C_2Br_4H_2$.

Cette robustesse des composés fluorés a permis d'isoler certains types

de combinaisons dont les équivalentes chlorées et bromées, voire hydrogénées, ne sont pas susceptibles d'existence durable, telles les fluoralkylamines déjà citées et l'acide trifluoracétyle-acétique, le seul acide cétonique 1. 3. que l'on puisse distiller et conserver.

Le peu d'intensité du champ extérieur des composés organiques fluorés se traduit encore par leur très grande volatilité : dans la série du méthane, la substitution du chlore par le fluor abaisse le point d'ébullition de 54°.

Il est d'observation générale que le remplacement de l'hydrogène par un substituant quelconque dans une substance organique élève le point d'ébullition de cette dernière. Dans le cas d'une substitution fluorée, il peut n'en point être de même, l'alcool trifluorisopropylique, le trifluorméthylméthanol, l'orthofluorphénol ont des points d'ébullition inférieurs à ceux des alcools ou du phénol non substitués ; le trifluoracétate d'éthyle bout à 61°, tandis que l'acétate d'éthyle bout à 74°,5 et le nitrile du même acide a un point d'ébullition inférieur de 144° à celui de l'acétonitrile.

On pourrait objecter que les alcools et les nitriles sont des corps fortement associés et que la substitution fluorée a pour effet de diminuer l'association moléculaire. Mais cette objection vient plutôt appuyer notre thèse, puisque l'association a pour cause le champ extérieur des molécules. On retrouve d'ailleurs des faits analogues pour des dérivés fluorés des hydrocarbures; le point d'ébullition du trifluortolène $C_6 H_5 C F_3$ est inférieur de 10° à celui du toluène et l'hexafluoréthane, que je viens d'isoler, bout à −79° alors que le fluorure d'éthyle bout à −32°.

Par la manière dont il se comporte au point de vue chimique dans ses dérivés organiques, le fluor est bien le premier des halogènes. Il est notamment un agent acidifiant très énergique, plus actif que le chlore ; les alcools fluorés sont ionisés et la constante d'ionisation de l'alcool trifluorisopropylique est 2.000 fois plus grande que celle du phénol. J'ai déjà signalé le caractère très fortement acide des formes énoliques des éthers di et trifluoracétylacétiques.

Mais c'est surtout dans le groupe des acides acétiques fluorés que j'ai pu étudier le plus complètement l'influence du fluor sur la fonction acide ; l'acide trifluoracétique notamment est le plus fort des acides organiques. Le fluor se différencie ainsi nettement de l'oxygène. M. De Brauwer a observé un fait analogue dans la série aromatique ; il a isolé l'acide orthotrifluortoluique et montré que sa constante d'ionisation est sensiblement plus élevée que celle de l'acide phtalique.

Je suis ainsi amené à dire quelques mots de nos recherches sur les allures des composés aromatiques fluorés. Il faut ici faire le départ entre les dérivés fluorés dans le noyau et ceux qui portent le fluor dans une chaîne latérale.

Dans les premiers, les allures du fluor sont un peu différentes de celles que l'on observe dans la série grasse ; il est relativement plus mobile, dépassant parfois le chlore à cet égard, surtout lorsqu'il est en orthoposition avec $N O_2$.

Dans l'étude de ce groupe, nous avons accordé une attention particulière au pouvoir d'orientation du fluor, sur lequel on avait peu de renseignements, les seuls travaux sur ce sujet étant ceux de Holleman et de ses collaborateurs.

Tandis que je complétais la documentation sur la nitration du fluorbenzène et étudiais la nitration du p. chlorfluorbenzène, du méta- et du parafluorbenzène, des fluoranilines et du p. fluorphénétol, M. Van Hove fit l'étude de la même réaction sur le p. brom- et le p. iodbenzène. Mes élèves, MM. Rouche et Govaerts, Mlle Craps, nitrèrent les trois acides fluorbenzoïques et firent une étude assez avancée du mécanisme et des produits de nitration. M. Van Hove, qui avait obtenu deux dérivés fluorés du diphényle, a également étudié la nitration de ces composés.

Il ressort de cet ensemble que le fluor est un substituant dont le pouvoir d'orientation est peu accusé, il se range après le chlore et même le méthyle et son pouvoir d'orientation s'efface complètement vis-à-vis de l'hydroxyle. Lorsque la substitution peut affecter deux positions différentes la proportion du second isomère est généralement moins importante que dans le cas des dérivés chlorés.

Il a aussi été obtenu en notre laboratoire quelques dérivés du toluène fluorés dans le méthyle. Le trifluortoluène et ses dérivés par substitution s'opposent, par l'extraodinaire résistance du chaînon CF_3, à la sensibilité du groupe similaire du chloroforme phénylique.

C'est ainsi notamment que par oxydation profonde de la trifluortholuidine par le mélange sulfochromique, je suis parvenu en 1921 à isoler l'acide trifluoracétique, dont j'avais vainement poursuivi l'obtention depuis une vingtaine d'années.

Dans un appareil à reflux en métal, nous avons fait passer des vapeurs de trifluortoluène sur du cuivre, du fer, de l'aluminium chauffés à des températures atteignant jusque 350°, dans l'espoir d'obtenir des dérivés fluorés du stilbène ou du diphényléthane. Certaines de ces expériences ont été poursuivies pendant 200 heures; rien n'y fit, le trifluortoluène sortit indemne de l'épreuve. Ces expériences sont en partie inédites.

La grande stabilité de ce groupement m'a également permis d'isoler des dérivés fluorés du méthylcyclohexane par hydrogénation catalytique, tandis que les composés aromatiques fluorés dans le noyau sont réduits avec formation d'acide fluorhydrique. L'hydrogénation du trifluorcrésol fournit dans les mêmes conditions un mélange de trifluorméthyle-cyclohexanol et de trifluorméthyle-cyclohexane, ce dernier en proportion d'autant plus importante que la température est plus élevée.

Cette observation m'a conduit à une interprétation théorique de la marche de cette réaction, basée sur la théorie de l'adsorption de Langmuir, interprétation que l'expérience a vérifiée dans ce cas particulier. Un de mes assistants en poursuit actuellement la vérification dans d'autres cas.
toluène, ont montré que le groupe CF_3 oriente en position méta. Ce fait a été établi, pour la nitration, il y a plus de trente ans, à une époque où
La nitration, plus tard la bromuration et la sulfonation du trifluor-

l'on affirmait encore que la substitution de l'hydrogène dans le méthyle n'affectait pas le pouvoir d'orientation de ce dernier.

Plus tard, M. Van Hove a étudié le difluorméthylebenzène et a reconnu que le chaînon CHF_2 est un subsistant, presque neutre : par nitration il obtint les trois dérivés ortho, méta et para.

Pour terminer la revue rapide de ce type de composés, j'ajouterai que M. Rouche a fait une recherche quantitative sur la nitration de la m. trifluortoluidine et isola trois des quatre isomères possibles.

Parmi les autres composés aromatiques fluorés dans la chaîne latérale, je signalerai encore l'acide fluor-cinnamique, que j'ai obtenu par la condensation de $CH_2F . CO_2C_2H_5$ avec l'aldéhyde benzoïque.

Ainsi que je l'ai dit plus haut, je ne suis pas parvenu jusqu'à présent à obtenir des dérivés du cyclohexane fluorés dans le noyau, tandis que j'ai pu isoler le di et le trifluorméthyle-cyclohexane et quelques dérivés par substitution de ce dernier. Sa nitration par l'acide nitrique étendu fournit, à côté d'un dérivé nitré, les acides trifluorméthyladipique, trifluorméthyle-glutarique, trifluoracétique, en même temps que de l'acide succinique.

Le but de mes recherches ne se borna pas à tâcher de compléter nos connaissances sur les allures chimiques du fluor dans ses combinaisons organiques, j'ai cherché aussi, dans la mesure de mes moyens, de l'étudier au point de vue physico-chimique.

Aussi systématiquement que me le permettait le matériel dont je disposais, j'ai porté mes investigations sur la thermochimie et la réfractométrie des composés organiques fluorés. Il est même un nombre assez important de ceux-ci dont j'ai poursuivi l'obtention en vue de me procurer les éléments nécessaires à ces recherches.

On ne possédait aucune documentation sur la variation d'énergie que provoque la substitution de l'hydrogène par le fluor. C'est cette lacune que je me suis efforcé de combler, m'attachant particulièrement à reconnaître l'influence des divers groupes d'atomes associés au fluor dans la molécule, celle de l'isomérie de structure ou de lieu. Ce travail de longue haleine a porté sur environ 60 dérivés fluorés.

Dans un mémoire paru en 1919 dans le *Journal de Chimie physique*, j'ai exposé l'ensemble des résultats acquis à cette date. J'avais utilisé pour calculer la chaleur de formation des composés fluorés les données de Berthelot et Moissan relatives à la chaleur de formation de l'acide fluorhydrique. Depuis, Wartenberg et Ruff ont montré que ces données étaient affectées d'une erreur très importante : la chaleur de formation de l'acide fluorhydrique est supérieure de 25.200 cal. à celle que trouvèrent Berthelot et Moissan. Les chaleurs de formation déduites des chaleurs de combustion doivent donc être augmentées de cette valeur pour chaque atome de fluor que renferme la molécule. La variation d'énergie interne que comporte, par exemple, la formation du groupe CF_3 est supérieure en moyenne de 144.000 cal. à celle du méthyle et la chaleur de formation de CF_4 doit être voisine de 200.000 calories, soit plus du double de celle de CO_2.

Ces données numériques nous fournissent une expression quantitative approchée de l'affinité du fluor pour le carbone et confirment les observations d'ordre chimique que j'ai résumées très brièvement plus haut.

En 1923, j'ai publié également dans le *Journal de chimie physique*, un travail d'ensemble sur la réfractométrie des composés organiques fluorés. Il en ressort que le fluor est de tous les éléments celui qui intervient dans la réfraction moléculaire pour la valeur la plus petite et qu'à cet égard il s'écarte complètement des autres halogènes, dont la réfraction atomique est très élevée.

Dans ces recherches de chimie physique je n'ai pas eu pour but de déterminer des constantes atomiques, lesquelles ne sont que des moyennes plus ou moins grossières. J'estime en effet que la méthode vraiment objective consiste à établir l'influence qu'exercent la structure de la molécule, le voisinage plus ou moins proximal d'autres substituants sur la variation provoquée par une substitution dans une grandeur physique ou énergique. Elle est la seule qui puisse nous conduire à mieux connaître les propriétés des atomes, leurs relations immédiates ou médiates et nous permettre de mieux pénétrer la structure intime de la molécule.

J'ai été heureusement servi dans cette étude par les allures remarquablement normales du fluor, ce qui m'a permis d'établir quelques relations présentant un caractère de généralité intéressant.

Je termine actuellement une recherche du même ordre sur la viscosité des composés organiques fluorés et espère en communiquer les résultats à brève échéance.

Je disais tantôt que le fluor est, par la manière dont il se comporte chimiquement dans ses dérivés organiques, le premier des halogènes et je viens de montrer que réfractométriquement il s'en écarte complètement. Aussi peut-on se demander si, au point de vue chimique, il n'est entre le fluor et le chlore d'autre distinction qu'un ordre de préséance.

Nous avons reconnu la solidité de la liaison entre le carbone et le fluor. Cette liaison est une covalence, et l'on peut traduire ce fait en disant que le fluor, uni de la sorte, a beaucoup moins que les autres halogènes de tendance à passer à l'état d'ion : la liaison covalentielle est un état relativement plus stable chez lui que chez les autres halogènes.

Pour citer deux exemples concrets, l'action du zinc sur $CHBrF-CBrF_2$ fait passer deux atomes de brome et non deux atomes de fluor à l'état d'ions. D'autre part, j'ai reconnu que l'action du magnésium sur les fluorures d'alkyles est extraordinairement lente.

Chez les métalloïdes la tendance à former un ion est surtout prononcée chez les halogènes ; pour ne point parler de l'azote et du phosphore, dont on n'a pu démontrer l'existence à l'état d'ions simples, le soufre et l'oxygène manifestent une propension bien moindre à l'ionisation et dans la plupart de ses combinaisons on trouve le dernier uni par des liaisons covalentielles robustes, tels les ions des oxacides. Sa combinaison hydrogénée est peu ionisable. N'en est-il pas de même pour l'acide fluorhydrique ?

L'inertie exceptionnelle de SF_6, de CF_4, le fait que F_2O, récemment isolé par Lebeau, ne se comporte pas comme un anhydride, la résistance remarquable du groupe CF_3 que je signalais naguère, sont des preuves tangibles de la stabilité des covalences du fluor. A cet égard, une certaine analogie entre le fluor et l'oxygène me paraît incontestable.

Et je reviendrai encore sur la robustesse du groupe CF_3, dans $C_6H_5 . CF_3$, sa résistance à l'action des métaux, à l'hydrolyse, toutes réactions qui font passer le fluor à l'état d'ion.

Mais ce même trifluortoluène est attaqué à chaud par l'acide sulfurique concentré, par l'anhydride sulfurique ou $ClSO_3H$, avec formation d'acide ou d'anhydride benzoïque d'une part, d'acide fluorsulfonique d'autre part. Dans ce dernier, le fluor est fixé par une covalence et il y a donc eu permutation de covalence.

*
* *

Nos recherches sur les composés halogénés mixtes renfermant du fluor nous amènent assez naturellement à étudier quelques dérivés chlorobromés similaires, ainsi que l'action des organo-magnésiens sur les dérivés polyhalogénés de l'éthane. L'organo-magnésien choisi fut le bromure de phényle-magnésium. L'action de ce réactif est assez complexe, mais la réaction dominante est le plus souvent analogue à celle d'un métal : il y a soustraction de deux atomes d'halogène et formation d'un éthylénique. Rarement, fait plus curieux, il se fait une soustraction d'hydracide ; c'est le cas pour $C_2Cl_4H_2$, $C_2Cl_2F_2H_2$ et $C_2H_2Br_2F_2$, tandis que $C_2H_2Br_4$, appartenant au même type, perd deux atomes de brome.

M. le professeur Van Hove, qui fut longtemps mon collaborateur, n'a pas fait que contribuer à l'étude des composés fluorés durant son séjour à mon laboratoire. Il y a aussi effectué des recherches sur le pouvoir d'orientation du soufre bivalent dans les éthers du thiophénol. La bromuration du thioanisol lui fournit les deux bromothioanisols ortho et para, ce dernier étant prédominant.

En appliquant la même réaction au paraméthyle-thioanisol, il constata que le pouvoir d'orientation du groupe SCH_3 éclipse complètement celui du méthyle.

Il chercha ensuite à comparer le pouvoir d'orientation des groupes oxéthyle et sulfométhyle, par bromuration de l'éther éthylique du paraoxythioanisol. Il obtint ainsi essentiellement un dérivé bromé portant le brome en orthoposition par rapport à l'oxéthyle, à côté d'autres produits dont l'identification n'a pas été possible jusqu'à présent, en raison des difficultés de séparation et d'obtention par voie indirecte.

M. Van Hove a également élaboré une méthode d'obtention des éthers-oxydes consistant à chauffer en vase clos les alcools avec les chlorhydrates d'amines tertiaires ; elle constitue un procédé de préparation excellent des éthers-oxydes des homologues supérieurs de l'alcool éthylique.

Je signalerai encore son étude sur l'autoréduction des diazoïques de

l'ortho et de la paraphénétidine et sur la réduction curieuse des mêmes diazoïques en solution acide par le plomb et le cuivre.

M. Baudrenghien, chef de travaux à mon laboratoire avait entrepris au laboratoire de M. le professeur Bruylants une recherche sur les nitriles triméthyléniques. Amené à s'occuper du groupe triméthylénique, il a isolé les deux diméthyle-cyclopropanes 1.2, au dépens du dibromopentane 2.4, qu'il prépare par trois méthodes différentes. Il réussit à isoler les deux stéréoismoères à l'état pur et il a montré que leur aptitude réactionnelle, notamment vis-à-vis du brome, est très différente.

Il a été conduit ainsi à les comparer tant au point de vue physique que chimique à leurs isomères, les pentènes, mais il vous entretiendra lui-même du résultat de ses recherches.

SUR UN HYDROCARBURE DE L'ESSENCE DE RÉSINE ET LES 1.2 DIMÉTHYL-CYCLOPENTANES STÉRÉOISOMÈRES

par G. CHAVANNE

Professeur à l'Université de Bruxelles

Dans une étude sur l'essence de résine parue en 1884 aux *Annales de chimie et de physique*, RENARD [1] décrit comme un constituant important de cette essence un hydrocarbure non saturé C_7H_{12} bouillant de 103° à 105° qu'il nomme tétrahydrure de toluène. Quelques années plus tard, MAQUENNE [2], au cours de ses recherches sur la constitution de la perséïte, obtient, en traitant ce polyalcool par l'acide iodhydrique, un éthylénique C_7H_{12} présentant un ensemble de caractères communs avec celui de Renard, mais de densité notablement plus basse 0,778 à 0,780 au lieu de 0,796 à 18°. MAQUENNE [3] est amené par là à reprendre l'étude du tétrahydrure de toluène de Renard ; il fixe avec plus de précision ses constantes, décrit son nitrosochlorure (F. 92°) et un hydrocarbure saturé C_7H_{14} (Eb. 94°-96° sous 765 mm.) formé en agitant l'éthylénique avec l'acide sulfurique concentré. Il considère cet hydrocarbure saturé comme identique à l'hexahydrure de toluène de Wreden et Lossen et l'éthylénique de Renard comme un méthylcyclohexène. C'est en celui-ci, souillé par un peu de saturé moins dense formé par l'action hydrogénante de l'acide iodhydrique, que consisterait d'après Maquenne l'hydrocarbure dérivé de la perséïte.

Il est bien certain, depuis les travaux de Sabatier, que l'hexahydrure de toluène de Wreden et Lossen n'est pas le méthylcyclohexane pur, et que la conclusion de Maquenne doit être corrigée.

En 1908, KISHNER [4] obtient par différents procédés à partir du cyclobutyldiméthylcarbinol un produit éthylénique cyclique C_7H_{12} pour lequel il indique des constantes de valeur variable avec échantillon examiné ; la densité donnée à 20° varie entre 0,7890 et 0,7947 ; l'intervalle d'ébullition correspondant de 102° à 105° sous 773 mm. à 103°,7 – 104°,5 sous 748 mm. alors que Maquenne indique pour l'hydrocarbure de l'essence de résine $d_{\frac{25}{4}} = 0,7923$ soit $d_{\frac{20}{4}} = 0,7965$ environ et Eb. 104°,6 – 105°,3

(1) *Ann. de chimie et physique* (6), **1**, 223-255 (1884).
(2) *Ibidem.* (6), **19**, 1 (1890).
(3) *Ibidem.* (6), **28**, 270 (1893).
(4) *Bull. Soc. Chim. Saint-Pétersbourg*, **40**, 676 à 698 et 994 à 1015 (1908).

sous 767,5. Kishner constate la formation d'un nitrosochlorure identique à celui obtenu par Maquenne et une réaction analogue de l'acide sulfurique. Il conclut à l'identité de son hydrocarbure avec celui de Renard et Maquenne.

Comme les données d'identification fournies par Kishner indiquent que son hydrocarbure n'est pas un corps pur, il vaudrait mieux formuler la conclusion de cet auteur en disant que le produit éthylénique de Kishner et celui de Renard et Maquenne contiennent un constituant commun C_7H_{12}.

Or, Kishner établit que son hydrocarbure est le diméthyl 1.2 cyclopentène 1 formé par extension cyclique à partir du dérivé cyclobutylique pris comme point de départ ; l'hydrocarbure de l'essence de résine serait donc essentiellement constitué par ce diméthyl 1.2 cyclopentène 1.

Depuis lors, VAN RYSSELBERGE [5] a, dans mon laboratoire, préparé par des réactions normales au départ de l'α méthylcyclopentanone le diméthyl 1.2 cyclopentanol 1, le diméthyl 1.2 cyclopentène résultant de sa déshydratation et le diméthyl 1.2 cyclopentane, hydrocarbure saturé correspondant. Ces composés se sont révélés comme des mélanges d'isomères qu'il a été impossible à Van Rysselberge de séparer en individus purs.

Nous n'avons pas pu non plus atteindre ce but, Mlle DE VOGEL et moi [6], en préparant l'éthylénique et le saturé par une autre voie au départ de l'oxyde de méthyl 1 cyclopentène 1.

Je me suis proposé, il y a un peu plus d'un an, en vue d'une autre recherche, de préparer les deux diméthyl 1.2 cyclopentanes stéréoisomères à l'état de pureté et, chemin faisant, d'examiner à nouveau les produits d'oxydation du diméthyl 1.2 cyclopentène et l'action si curieuse, signalée par Maquenne puis par Kishner, de l'acide sulfurique concentré sur cet hydrocarbure. En ce qui concerne l'oxydation permanganique de l'éthylénique, il y a en effet désaccord entre le résultat de Kishner et celui de Van Rysselberge, résultats obtenus dans des conditions insuffisamment définies ; le premier obtient l'acide acétobutyrique d'où il conclut à la constitution d'un diméthyl 1.2 cyclopentène 1 ; le second, une quantité importante d'acide benzoïque dont il interprète la formation à partir d'un diméthyl 1.2 cyclopentène 5. Le travail fait jusqu'à ce jour a permis de préciser un peu plus la nature des éthyléniques de Van Rysselberge et de Renard et Maquenne et de séparer à l'état de pureté les diméthyl 1.2 cyclopentanes stéréoisomères.

*
* *

Quand on soumet à un fractionnement serré, avec une puissante colonne Crismer, l'éthylénique C_7H_{12} obtenu par la suite de réactions mises au point par Van Rysselberge, on observe qu'il se sépare en deux constituants isomères d'inégale volatilité ; au cours du fractionnement on

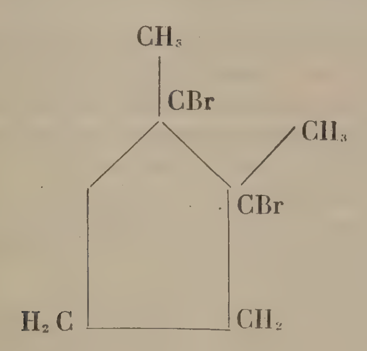
(5) *Bull. Cl. Sc. Acad. Belg.*, 5e série, **12**, 171 (1926).
(6) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **37**, 141 (1928).

doit naturellement parer à l'oxydation du produit par l'air en maintenant à son contact de l'hydroquinone. Voici la répartition du distillat au huitième tour de distillation sous la pression normale :

			Poids	Par intervalle de un degré	
1re	fraction	92° — 96°	1,5	0,4	
2me	—	*96° — 98°*	8,0	*4,0*	maximum
3me	—	98° — 100°	4,5	2,25	
4me	—	100° — 102°	5,5	2,75	
5me	—	102° — 103°	5,0	5,0	
6me	—	103° — 104°	6,5	6,5	
7me	—	104° — 104°,65	6,5	10,0	
8me	—	104°,65 — 104°,9	2,5	10,0	
9me	—	*104°,9 — 105°,3*	107,0	*267,5*	maximum
10me	—	105°,3 — 105°,7	5,5	14,0	

Une rectification subséquente de la fraction 96°-98° et de celle qui la suit accumule le constituant volatil entre 96° et 97°. La rectification de la neuvième fraction montre que le palier de distillation se trouve entre 105° et 105°,2. Le moins volatil des deux constituants forme donc environ 90 % du mélange ; c'est naturellement lui que le fractionnement fournit le plus pur.

Les densités de vapeur ont été mesurées dans l'azote à la température d'ébullition du tétrachloréthane (147°) pour les deux constituants. Les valeurs que l'on en déduit pour la masse moléculaire sont 97,7 pour le plus volatil, 99,4 pour l'autre (théorie pour C_7H_{12}: 96,1) résultats un peu forts sans doute à cause d'une température de la vapeur trop proche du point d'ébullition. Tous deux se comportent vis-à-vis du brome à peu près de la même manière comme des éthyléniques dont le dérivé d'addition bromé est particulièrement fragile. Mis au contact (par bris d'une ampoule mince contenant une quantité pesée de l'ordre de quelques décigrammes) avec une solution diluée et titrée de brome dans CCl_4 en quantité calculée pour C_7H_{12} à une température voisine de $-15°$ et à la lumière diffuse ils en produisent la décoloration instantanée ; mais celle-ci est accompagnée d'un dégagement de HBr et on ne parvient, dans les deux cas, à une coloration persistante qu'après addition d'un excès de liqueur titrée de brome par rapport à la quantité théorique. La seule différence à noter dans le comportement des deux isomères est que le dérivé bromé correspondant au constituant le moins volatil est moins fragile que l'autre; il décolore deux à trois fois moins vite le brome ajouté en excès, observation qui tend à lui faire attribuer la formule de constitution



dans laquelle ne se trouvent pas à la fois un atome d'hydrogène et un atome de brome très mobiles placés sur deux atomes de carbone contigus.

Les constantes de définition de ces deux hydrocarbures sont:

Isomère 105° — 105°,2

Densité (picnomètre de 25 cm³) $d_{\frac{20}{4}} = 0{,}7952$; $d_{\frac{15}{4}} = 0{,}7998$;

Indices (réfractomètre Puhlfrisch, température 20° constante à 0°,02 près) :

$n\alpha = 1.4412$ $n\beta = 1.4511_5$ $n\gamma = 1.4571$ $n_{Hej} = 1.4442$

d'où les valeurs de la réfraction et de la dispersion moléculaire (Lorentz et Lorenz) :

$M\alpha = 31.92_4$ $M\beta = 32.54_7$ $M\gamma = 32.91_7$ $M_{Hej} = 32.11$

$M\beta - M\alpha = 0{,}623$ $M\gamma - M\alpha = 0{,}993$;

Viscosité à 15° [viscosimètre Martin (7)] $\eta_{15} = 0{,}00537$;

Point de fusion — 90°,4. (8)

Isomère 96° — 97°

Densité (picnomètre de 2,5 cm³) $d_{\frac{20}{4}} = 0{,}783_1$;

Indices à 20° :

$n\alpha = 1.4321$ $n\beta = 1.4415_3$ $n\gamma = 1{,}4472_4$ $n_{Hej} = 1.4349$

d'où on déduit :

$M\alpha = 31{,}83$ $M\beta = 32{,}44$ $M\gamma = 32{,}80$ $M_{Hej} = 32{,}01$

$M_\beta - M\alpha = 0{,}61$ $M\gamma - M\alpha = 0{,}97$;

Point de fusion — 124°,8.

Un échantillon de diméthyl 1.2 cyclopentène obtenu par Kishner présente des constantes très voisines de celles du premier de ces isomères.

Eb. : 103°,7 — 104°,5 sous 748 mm. $d_{\frac{20}{4}} = 0{,}7947$ $\eta_D^{20°} = 1.4444$ $M_D = 32{,}11$.

Ethylénique C_7H_{12} *de Renard et Maquenne.* — Grâce à l'intervention aimable de M. le professeur Dupont, de l'Université de Bordeaux, que je

(7) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **33**, 82 (1924).

(8) Les points de fusion indiqués dans ce travail ont été déterminés par M. Timmermans.

tiens à remercier ici, j'ai pu me procurer de l'essence de résine des Landes. Le traitement de 30 kg. de ce produit m'a fourni 375 gr. d'hydrocarbure distillant de 104°,5 à 105°,5 sous 760 mm. dont la majeure partie, après rectification avec une puissante colonne Crismer, a passé de 104°,9 à 105°,3. La densité, mesurée à 20° avec un picnomètre de 25 cm³ est 0,7966. Maquenne indique pour le même hydrocarbure :

Eb. : 104°,6 — 105°,3 sous 767 mm. 5, soit 104°,3 — 105° sous 760 mm.
$d_{\frac{25}{4}} = 0{,}7923$, soit $d_{\frac{20}{4}} = 0{,}7968$ environ.

et pour l'hydrocarbure purifié par transformation en nitrosochlorure cristallisé et décomposition de celui-ci par la potasse alcoolique

Eb. : 104°,9 — 105°,4 sous 767,5 soit 104°,6 — 105°1 sous 760 mm.
$d_{\frac{25}{4}} = 0{,}7921$, soit $d_{\frac{20}{4}} = 0.7966$ environ.

Il y a donc accord.

Mais la densité de cet hydrocarbure est supérieure de 14 unités de la quatrième décimale à celle du diméthyl 1.2 cyclopentène synthétique de même point d'ébullition. C'est une différence dix fois supérieure aux erreurs de mesure possibles. Un traitement par l'acide acétique glacial en excès, à froid d'abord (abandon pendant vingt-quatre heures de la solution acétique) puis à douce ébullition ramène la densité à

$$d_{\frac{20}{4}} = 0{,}7963$$

mais là s'arrête l'action de ce réactif. La répétition du traitement fournit une solution qui reste incolore, alors qu'elle devenait jaune dans les traitements précédents, et la densité reste constante. L'hydrocarbure présente alors les indices de réfraction suivants à 20° :

$$n_{\alpha} = 1.4422_1 \qquad n_{\beta} = 1.4523_6 \qquad n_{\gamma} = 1.4585_4$$

Il est plus réfringent et un peu plus dispersif que le diméthyl 1.2 cyclopentène synthétique de même point d'ébullition. Il fond à —91°,5 soit environ un degré plus bas que ce dernier. Un mélange des deux fond à une température intermédiaire.

On peut donc conclure que l'hydrocarbure de Renard et Maquenne est le diméthyl 1.2 cyclopentène (Eb. 105°-105°,2) souillé d'une impureté plus dense, plus réfringente et un peu plus dispersive. Si l'on tient compte du faible abaissement du point de congélation que produit cette impureté, il y a beaucoup de chances que sa concentration soit faible et que par conséquent sa densité et ses indices soient notablement plus élevés que ceux du diméthyl 1.2 cyclopentène. On ne peut guère songer à envisager comme impureté un alcool, un composé carbonylé, un acide, l'hydrocarbure ayant été lavé aux alcalis et au bisulfite et un tour de distillation ayant été fait sur sodium. Un hydrocarbure aromatique, le

toluène, ou des polyéthyléniques à cycle pentagonal ou hexagonal tels que le tropilidène dont les points d'ébullition ne sont pas très éloignés de 105° peuvent être pris en considération ; leur concentration devrait être de l'ordre de 1 % pour rendre compte des observations.

Diméthyl 1.2 cyclopentanes. — L'hydrogénation de l'éthylénique de l'essence de résine a permis de voir que si dans celui-ci le diméthyl 1.2 cyclopentène est souillé par des hydrocarbures à cycle hexagonal, ceux-ci n'y sont qu'à l'état de traces. Elle a été effectuée par la méthode de Willstätter en milieu acétique. Le volume d'hydrogène fixé a été dans chaque opération un peu plus élevé que ne l'exige la formule C_7H_{12} (excès de 3 % environ). Une très petite quantité d'un produit peu volatil à odeur d'éther acétique mise à part, le produit de l'opération est un mélange d'hydrocarbures dont la distillation, avec une colonne puissante, s'étale de 92° à 100°. (Dans le cas de l'éthylénique de synthèse bouillant à 105°, on observe d'ailleurs après hydrogénation faite dans les mêmes conditions cette même marge de distillation.) Le produit a été agité avec H_2SO_4 concentré jusqu'à ce que celui-ci ne se colore plus, puis fractionné avec une colonne Crismer de 40 cm. utilisée à sa puissance d'analyse maxima. Après huit tours, dont cinq sur sodium, on parvient à la répartition suivante sous 760 mm. (Variation de température d'ébullition par mm. de pression : 0°,045.)

			Poids	Par intervalle de degré	
1re	fraction	< 91°,5	1,5	—	
2me	—	91°,5 — 92°	48,5	97	$d_{\frac{20}{4}} = 0,7495$
3me	—	92° — 92°,5	26,5	53	$d_{\frac{20}{4}} = 0,7508$
4me	—	92°,5 — 93°	18	36	
5me	—	93° — 93°,5	16	32	
6me	—	93°,5 — 94°,5	18,5	18,5	
7me	—	94°,5 — 95°,5	14	14	
8me	—	95°,5 — 96°,5	13	13	
9me	—	96°,5 — 97°,5	13	13	
10me	—	97°,5 — 98°,5	19	19	
11me	—	98°,5 — 99°,1	42	70	$d_{\frac{20}{4}} = 0,7708$
12me	—	99°,1 — 99°,35	49	196	$d_{\frac{20}{4}} = 0,7718$
13me	—	99°,35 — 99°,65	7	23	$d_{\frac{20}{4}} = 0,7719$

Il y a donc deux constituants de distillation correspondant aux deuxième et douzième fractions. La rectification systématique des deuxième et troisième fractions d'une part et des onzième et douzième de l'autre fixe les points d'ébullition de ces constituants à

91°,8 ± 0°,1 sous 760 mm. (90°,95 sous 741 mm.) et
99°,25 ± 0°,1 sous 760 mm. (98°,40 sous 741 mm.).

L'action du brome montre qu'ils contiennent moins de 2 pour 1000 d'éthylénique.

Leurs densités respectives déterminées avec un picnomètre de 25 cm^3 sont :

Eb. : 91°,8 $d_{\frac{20}{4}} = 0{,}7495$ $d_{\frac{15}{4}} = 0{,}7541$

Eb. : 99°,25 $d_{\frac{20}{4}} = 0{,}7718$ $d_{\frac{15}{4}} = 0{,}7764$.

Ils cristallisent aisément et fondent le premier à −120°, le second à −62°. Ils sont bien différents du méthylcyclohexane (9) défini par

Eb. : 101°,20 sous 760 mm. $d\frac{20}{4} = 0{,}7690$ $d\frac{15}{4} = 0{,}7734$

et qui fond à −126°,4, c'est-à-dire 64°,4 plus bas que le diméthyl 1.2 cyclopentane le moins volatil qu'on serait tenté de rapprocher de lui par son point d'ébullition et sa densité.

Nous avons affaire ici, d'après tout ce qui précède, aux deux diméthyl 1.2 cyclopentanes cis et trans. On voit combien leurs constantes sont distinctes, 7°,45 d'écart pour les températures d'ébullition ; plus de 22 unités de la troisième décimale de différence dans les densités. L'écart est pour celles-ci encore plus grand, en valeur relative comme en valeur absolue, que celui observé par Baudrenghien (10) chez les diméthylcyclopropanes cis et trans.

Les deux isomères ont des températures critiques de solution avec l'aniline très différentes ; le plus dense ayant, comme c'est la règle, la température critique de solution la plus basse : 39°,9 pour le moins volatil; 47°,8 pour l'autre. Les viscosités à 15° diffèrent notablement $\eta = 0{,}00812$ pour l'isomère supérieur ; $\eta = 0{,}0060$ pour le plus volatil.

Les indices des deux stéréoisomères ont été mesurés avec un réfractomètre de Puhlfrisch dans lequel la constance de température était maintenue à 0°,02 près par circulation de l'eau d'un thermostat de grande capacité. Voici les valeurs obtenues :

Isomère Eb. 91°,8 :

$n^{20}_{\alpha} = 1.4093_1$ $n^{20}_{\beta} = 1.41659$ $n^{20}_{\gamma} = 1.42077$ $n^{20}_{\mathrm{Hej}} = 1.41155$

$\frac{dn}{dt}\ \alpha = 0{,}00051$ $\beta = 0{,}00052$ $\gamma = 0{,}00053$

Isomère Eb. 99°,25 :

$n^{20}_{\alpha} = 1.42014$ $n^{20}_{\beta} = 1.427$ $^{20}_{\gamma} = 1.43180$ $n^{20}_{\mathrm{Hej}} = 1.42202$

$\frac{dn}{dt}\ \alpha = 0{,}00051$ $\beta = 0{,}00052$ $\gamma = 0{,}00053$

(9) Timmermans et Martin, *J. Ch. Phys.*, **23**, 30 (1926).

(10) Baudrenghien, *Bull. Cl. Sc. Acad. Belg.*, 5e série, **15**, 53, (1929)

d'où l'on calcule pour les réfractions moléculaires (Lorenz et Lorentz) et les dispersions moléculaires :

Isomère 91°,8 : $M\alpha = 32{,}38_5$ $M\beta = 32{,}89$ $M\gamma = 33{,}18$ $M_{Hej} = 32{,}54$
$M\beta - M\alpha - 0{,}505$ $M\gamma - M\alpha - 0{,}795$
Isomère 99°,25 :

$M\alpha = 32{,}18$ $M\beta = 32{,}67$ $M\gamma = 32{,}96$ $M_{Hej} = 32{,}32$
$M\beta - M\alpha = 0{,}49$ $M\gamma - M\alpha = 0{,}78.$

Les deux isomères ont donc des réfractions moléculaires notablement différentes ; celui qui a la plus forte densité et le plus grand indice ayant en même temps la réfraction moléculaire la plus faible.

Eykman remarque dans ses études réfractométriques que l'introduction de chaînes latérales dans le cycle pentagonal ne s'accompagne pas d'exaltation ou de dépression sensible de la réfraction moléculaire. Si l'on adopte pour la réfraction moléculaire du cyclopentane et pour l'incrément de l'homologie les valeurs d'Eykman ramenées à des masses correctes. on calcule pour les diméthylcyclopentanes :

$$M\alpha = 32{,}27_? \qquad M\beta = 32{,}76_3 \qquad M\gamma = 33{,}04$$

valeurs comprises entre celles que nous trouvons pour les deux isomères, mais différant de celles-ci d'une quantité nettement supérieure aux erreurs de mesures possibles. Il y a faible exaltation pour l'un, dépression légère pour l'autre.

Si les réfractions moléculaires sont notablement différentes pour les deux isomères, les dispersions moléculaires sont voisines et l'on peut les confondre avec les valeurs moyennes :

$$M\beta - M\alpha = 0{,}497 \qquad M\gamma - M\alpha = 0{,}787$$

Or, elles sont pour l'éthylénique synthétique d'où ces isomères saturés proviennent :

$$M\beta - M\alpha = 0{,}62_3 \qquad M\gamma - M\alpha = 0{,}99_3$$

Les différences des dispersions pour le saturé et l'éthylénique sont ici :

$$(M\beta - M\alpha)\ \text{saturé} - (M\beta - M\alpha)\ \text{éthylénique} = -0{,}126$$
$$(M\gamma - M\alpha)\ \text{saturé} - (M\gamma - M\alpha)\ \text{éthylénique} = -0{,}206$$

Ces valeurs sont bien proches de celles qu'Eykman donne lorsque la liaison éthylénique se trouve entre deux atomes de carbone du cycle porteurs de chaînes latérales.

$$\Delta\,(M\beta - M\alpha) = -0{,}13 \qquad \Delta\,(M\gamma - M\alpha) = -0{,}22.$$

Pour l'éthylénique synthétique isomère le plus volatil, la valeur de ces différences est moindre ($-0{,}11$ et $-0{,}18$) et correspond aux observations d'Eykman sur le méthylcyclohexane et le méthyl 1 cyclohexène 1.

Ceci conduit à envisager l'isomère éthylénique le moins volatil comme le diméthyl 1.2 cyclopentène 1 (I) l'autre comme le diméthyl 1.2 cyclopentène 5 (II)

CH_3 — C — H_2C — CH_3 — C — I — H_2C — CH_2

CH_3 — C — HC — CH_3 — CH — II — H_2C — CH_2

La constitution I est d'accord avec la formation, observée par Kishner, d'acide acétobutyrique comme produit acide prépondérant dans l'oxydation permanganique d'un échantillon de diméthyl 1.2 cyclopentène riche en l'isomère le moins volatil. Ces constitutions sont d'accord aussi avec la fragilité relative des produits d'addition bromés des deux isomères.

Au sujet de la configuration spatiale à attribuer aux stéréoisomères saturés, des présomptions sont en faveur de la forme cis pour celui qui bout à 99°,25. Il doit avoir cette configuration d'après la règle d'Auwers parce qu'il a la réfraction moléculaire la plus faible avec la plus forte densité et le plus grand indice. D'autre part, on est bien fondé à admettre que plus les conditions de température sont modérées lors de la fixation d'hydrogène sur une liaison multiple, moins grand doit être le dérangement moléculaire qui précède immédiatement la fixation. Or, en hydrogénant à 155° par la méthode de Sabatier un diméthyl 1.2 cyclopentène qui, d'après le contexte, doit être riche en isomère bouillant à 105°, Kishner a obtenu un hydrocarbure saturé passant de 92°,7 à 93° sous 762 mm., de densité $d^{20}_{4} = 0,7532$, d'indice $n^{20}_{D} = 1.4126$, c'est-à-dire un mélange formé de 83 % de l'isomère bouillant à 91°,8 ; alors que nous obtenons ici par hydrogénation à froid un mélange qui, d'après la règle du point milieu de Young, contient seulement environ 50 % de cet isomère. Pour juger de la valeur de cet argument, il faudrait essayer d'hydrogéner les deux éthyléniques cycliques isomères par la méthode qui a fourni à Bourguel ([11]) uniquement les éthyléniques cis à partir des acétyléniques ([12])

([11]) *Bull. Soc. Chim. France*, **45**, 1067 (1929).

([12]) Ce travail a été fait avec l'aide du Fonds National de la Recherche scientifique.

SUR LA CORRESPONDANCE ENTRE ANTIPODES DE DIFFÉRENTES SUBSTANCES OPTIQUEMENT ACTIVES

par J. TIMMERMANS,

Professeur à l'Université de Bruxelles

Le laboratoire de chimie physique de la Faculté des Sciences de l'Université de Bruxelles que j'ai l'honneur de diriger, s'occupe depuis bien des années de deux ordres de travaux différents : d'une part l'étude de l'équation d'état des solutions concentrées ; de l'autre la préparation à l'état de pureté et la détermination des constantes d'un certain nombre des substances organiques les plus répandues, ce qui constitue l'une des tâches principales du Bureau des Etalons physico-chimiques. Il y a quelque temps j'ai entrepris une nouvelle série de recherches qui constituent en quelque sorte une synthèse des deux directions antérieures ; il s'agit en effet de résoudre des problèmes purement chimiques de structure en faisant appel aux méthodes physico-chimiques employées dans l'étude des solutions ; les pages suivantes sont consacrées à un exposé de cet ordre.

Depuis que Pasteur a découvert des paires de substances qui ne diffèrent l'une de l'autre que par le signe de leur pouvoir rotatoire, le problème se pose des relations de structure existant entre un antipode déterminé d'un premier composé et l'un ou l'autre antipode d'un second composé. On sait depuis longtemps qu'une telle classification n'est pas possible par la seule constatation du sens du pouvoir rotatoire ; déjà pour cette raison qu'une substance peut changer le sens de son pouvoir rotatoire suivant les condition de milieu; ensuite parce que, partant d'un antipode droit, un acide, par exemple, on peut parfaitement en obtenir un dérivé gauche, un ester par exemple, sans qu'il y ait changement de la structure stéréochimique intime. On a longtemps considéré comme correspondants les antipodes de différentes substances qui peuvent être préparées l'une à partir de l'autre ; mais la découverte par Walden du phénomène de l'inversion optique, suivant lequel, en partant d'un antipode déterminé d'une substance A, on peut obtenir à volonté l'un ou l'autre des antipodes d'une autre substance B, à condition de faire appel à des réactions différentes, montre que cette conclusion n'est pas toujours exacte ; les résultats obtenus par la simple filiation préparative des antipodes, ne constitue donc pas un sûr critère dans l'étude de la correspondance entre antipodes de différentes substances.

On est ainsi amené aujourd'hui à classer les antipodes en se plaçant à trois points de vue différents, sans que les résultats obtenus par ces diffé-

rentes méthodes de classement soient nécessairement compatibles les uns avec les autres. Nous distinguerons donc avec Wohl et Freudenberg : des antipodes + ou − d'après le sens de leur pouvoir rotatoire ; des antipodes *d* ou *l* d'après leur origine, la série droite étant constituée par les substances dérivées de l'aldéhyde glycérique *d;* enfin des antipodes δ et λ classés suivant leur véritable structure stéréochimique.

Les méthodes qui ont été proposées pour décider si un composé est δ ou λ appartiennent à deux catégories différentes.

Les premières sont basées sur l'étude des réactions qui permettent de passer d'une substance optiquement active à une autre ; nous admettrons avec Holmberg que si la réaction considérée ne touche pas aux liaisons mêmes du carbone asymétrique, la structure intime reste identique dans toute la série de composés étudiés. Mais dans le cas contraire où il y a remplacement de l'un des radicaux directement fixés sur le carbone asymétrique par un nouveau radical, une inversion de Walden est toujours à craindre ; l'on ne peut se guider alors, qu'en opposant les réactions douces, aisées, lentes qui se produiraient sans inversion, aux réactions brutales, difficiles, rapides, où une telle inversion est fréquente ; telle est la voie suivie par un grand nombre d'auteurs, notamment Biilmann, Holmberg, Sons et Rosenberg et enfin Freudenberg ; malheureusement les conclusions atteintes par ces différents auteurs sont assez souvent incompatibles ; ainsi d'après Biilmann, l'acide malique *d* correspondrait à l'acide aspartique *d* tandis que d'après Freudenberg il correspondrait à l'acide aspartique *l*.

Dans ces conditions, il paraît plus sûr de faire appel à des méthodes de diagnostic basées sur la comparaison des constantes physiques des différents composés étudiés ; on arrivera ainsi à établir des règles dont l'application permettra de trancher les cas douteux. Deux propriétés ont surtout été considérées à ce point de vue. Tout d'abord, la grandeur du pouvoir rotatoire lui-même varie d'une façon régulière lors du remplacement d'un radical par un autre, ce qui permet d'interpréter jusqu'au passage de composés + à des composés − dans une même série de corps ; les recherches de Hudson dans le groupe des sucres ont fourni à Freudenberg le principe de régularités dont ce dernier auteur s'est servi pour décider de la parenté stéréochimique de corps très différents des sucres ; les conclusions obtenues dans cette voie par Freudenberg confirment et complètent heureusement celles qu'il avait tirées du mode de préparation des antipodes considérés.

La méthode dont j'ai entrepris l'étude est basée sur l'examen de la cristallisation de mélanges où l'on met successivement en présence un antipode déterminé d'une substance A et les deux antipodes de la substance B. Si les deux substances mélangées ont des structures stéréochimiques antagonistes, il y a quelques chances de voir se former un complexe moléculaire, expression de la tendance à la neutralisation réciproque que possèdent tous les composés de nature opposée ; au contraire, si les deux antipodes étudiés ont des structures stéréochimiques analogues, il est probable que la formation de cristaux mixtes sera favorisée, ou que la courbe de congélation possédera simplement deux branches se coupant à l'eutectique.

L'examen de la littérature montre que sur ce point aussi Pasteur fut un précurseur génial, quand il découvrit la formation d'un complexe formé par le mélange du tartrate acide d'ammonium droit avec le malate acide d'ammonium gauche, tandis que le mélange du même malate gauche avec le tartrate gauche ne fournit pas de combinaison ; Pasteur a donné ces exemples et quelques autres, comme preuve du comportement différent d'un corps doué de pouvoir rotatoire à l'égard des deux antipodes d'un autre composé optiquement actif. Dans la suite Bruni, Ostromisslensky, Centnerszwer et Purdie ont encore fait quelques observations isolées dans le même sens ; j'en ai moi-même entrepris l'étude systématique en collaboration avec Mme Vesselowsky, M. Mommens, Mlle Heuse et M. Dumont. Ces recherches encore incomplètes fournissent déjà cependant un certain nombre de résultats intéressants.

Tout d'abord, l'expérience nous a révélé que dans bon nombre de cas, le postulat de Pasteur ne se vérifie pas : les deux antipodes *d* et *l* du composé B mis successivement en présence de l'antipode *d* du composé A offrent très souvent un comportement identique ; ceci se comprend très bien si l'on songe que les racémoïdes (je propose de nommer ainsi le complexe formé par addition de deux antipodes antagonistes appartenant à des substances différentes) doivent être des composés exothermiques, facilement dissociables par élévation de la température ; une fois leur dissociation réalisée, le système A + avec B + n'a plus aucune raison de se différencier au point de vue thermodynamique du système A + avec B −, puisque B + et B − sont équivalents entre eux. Il en résulte que là où les antipodes B + B − fournissent une série continue de cristaux mixtes l'un avec l'autre, ils en fournissent une également avec leurs proches parents A + ou A − ; j'ai montré ainsi que le camphre *d*, le camphre *l* et le camphre racémique fournissent des courbes de congélation identiques, si on les mélange avec le bornéol droit, le gauche ou le racémique. On rencontre de même des courbes de congélation superposables, avec formation d'un eutectique partout identique, quand on mélange, par exemple, l'amide lactique gauche avec l'amide tartrique gauche ou droite, quand on mélange l'acide chlorsuccinique droit ou gauche avec l'acide tartrique droit, avec l'acide malique gauche, etc. Ici l'expérience ne nous fournit pas de réponse à la question posée.

Mais nous avons obtenu des résultats positifs dans deux cas : l'acide chlorsuccinique et l'acide bromsuccinique *d* fournissent une série continue de cristaux mixtes, tandis que l'acide chlorsuccinique *l* et l'acide bromsuccinique *d* fournissent un racémoïde équimoléculaire ; j'en conclus que l'acide chlorsuccinique *d* correspond par sa structure intime à l'acide bromsuccinique *d* et non au gauche ; cette conclusion s'harmonise d'ailleurs avec ce que Freudenberg a déduit de l'étude du pouvoir rotatoire de ces deux substances qui sont obtenues à partir du même acide malique *l* par un processus de réactions analogues ; bien que le résultat obtenu fût attendu il n'était pas inutile de soumettre ces prévisions au contrôle expérimental ; en effet, à partir de l'esther isobutylique de l'acide *n* α-oxybutyrique, l'action respec-

tive de PCl_5 et PBr_5 conduit à la préparation de dérivés chlorés et bromés de pouvoir rotatoire de sens opposés.

Les composés tartriques et maliques constituent un autre groupe intéressant à notre point de vue : l'étude des points de fusion instantanée des mélanges a montré que l'acide tartrique *l* et l'acide malique *l* fournissent une série continue de cristaux mixtes, tandis que l'acide malique *l* donne un complexe équimoléculaire avec l'acide tartrique *d* ; l'étude de la même paire de substances par la méthode des isothermes de solubilité a confirmé les résultats précédents ; l'étude des mélanges d'amides correspondantes a permis de retrouver les mêmes régularités ; il résulte également des observations fragmentaires de Pasteur et d'Ostromisslensky qu'il en est encore de même quand on fait usage des sels neutres ou acides d'ammonium. Enfin les conclusions tirées par Sons et Rosenberg et par Freudenberg de l'étude du pouvoir rotatoire et du mode de passage de l'un de ces corps à l'autre, sont d'accord avec les nôtres. Cet ensemble de faits confirme une fois de plus l'exactitude des prémisses d'Holmberg.

Le problème que je viens d'esquisser nous ouvre un large champ de recherches et j'espère arriver ainsi à fournir un certain nombre de matériaux utiles pour l'étude de l'inversion de Walden, ainsi que du problème plus général des rapports entre la structure et les constantes physiques et physiologiques des composés énantiomorphes [1].

---

[1] Ce travail n'a pu être entrepris que grâce à une subvention du Fonds National de la Recherche scientifique.

ESSAI DE PRÉPARATION DES ISOMÈRES ÉTHYLÉNIQUES DE L'HEXÈNE$_2$ À PARTIR DU BROMURE DE CROTYLE

par H. VAN RISSEGHEM

Assistante à l'Université de Bruxelles

Ce travail se rapporte à un ensemble de recherches faites au laboratoire de Chimie générale de l'Université de Bruxelles, sous la direction de M. G. Chavanne, sur la stabilité relative des isomères éthyléniques cis-trans. Nous nous sommes proposé, il y a quelques années, de faire l'étude des hexènes acycliques et plus particulièrement de ceux d'entre eux dont la formule fait prévoir l'existence d'isomères éthyléniques, à savoir: l'hexène 2: $CH_3 - CH = CH - CH_2 - CH_2 - CH_3$; l'hexène 3: $CH_3 - CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH_3$; le méthyle 2. pentène 3. : $CH_3 - CH(CH_3) - CH = CH - CH_3$; et le méthyle 3. pentène 3. : $CH_3 - CH_2 - C(CH_3) = CH - CH_3$. La préparation de ce dernier nous a donné des indications sur l'existence de ses deux formes isomères (1). Dans un travail précédent (2) nous avons indiqué que la déshydratation de l'hexanol$_2$ par l'acide paratoluènesulfonique ou par l'alumine fournit un seul des deux isomères éthyléniques possibles de l'hexène$_2$. La forme obtenue est inerte : elle résiste à tous les agents d'isomérisation habituellement employés. La demi-réduction de l'acétylénique par le Pd colloïdal sur support d'amidon nous avait conduit au même stéréoisomère. Nous nous sommes proposé alors d'essayer la préparation de l'isomère éthylénique de l'hexène$_2$ obtenu par les réactions précédentes, en faisant réagir sur le bromure de crotyle, par application du procédé Brooks et Humphrey (3) le bromure d'éthyle Mg.

La méthode Br et H est une application en série grasse de la méthode que Tiffeneau et Grignard ont indiquée en série aromatique. Elle consiste à faire réagir le bromure d'allyle sur un alkyle Mg. Elle conduit aux hydrocarbures à double liaison en fin de chaîne :

$$R\,Mg\,Br + Br - CH_2 - CH = CH_2 \longrightarrow R\,CH_2 - CH = CH_2 + Mg\,Br_2.$$

(1) *Bull. de la Soc. chim. de Belg.*, **31**, 214.
(2) *Idem.*, **35**, 328 (1926).
(3) Brooks and Humphrey, *Journ. of Am. Chem. Soc.*, **40**, 832.

Or, le brome du bromure de crotyle étant plus mobile que le brome du bromure d'allyle, nous pouvions espérer réaliser la condensation du bromure d'éthyle Mg et du bromure de crotyle pour obtenir l'éthylénique avec la double liaison sur le deuxième atome de C :

$$C_2H_5MgBr + BrCH_2 - CH = CH - CH_3 \longrightarrow$$
$$MgBr_2 + C_2H_5 - CH_2 - CH = CH - CH_3.$$

L'existence du bromure de crotyle sous deux formes stéréoisomères a été mise en évidence par LÉPINGLE (1) en distillant ce dérivé bromé en présence d'alcool, il obtint deux éthers oxydes $CH_3 - CH = CH - CH_2 - O - C_2H_5$ cis et trans. Si donc aucune isomérisation ne se produit pendant la réaction de Br et H, nous devons obtenir un mélange des deux formes cis et trans de l'hexène.

I. — *Préparation du bromure de crotyle.* — Le bromure de crotyle a été préparé à partir du méthylvinylcarbinol qu'on obtient (2) par l'action de l'acroléine sur le bromure ou l'iodure de méthyle Mg et par l'hydrolyse du complexe formé. Nous avons eu soin de préparer CH_3MgI en solution diluée et de le refroidir énergiquement lors de l'addition de l'acroléine qui était toujours fraîchement distillée et stabilisée par de l'hydroquinone. Après un repos de 15 à 18 heures, on décompose par l'eau le magnésien formé. A cet effet on verse la solution éthérée de celui-ci par petites quantités, sur de la glace contenue dans un ballon refroidi dans un mélange réfrigérant (glace + sel). On laisse en contact quelques heures puis on décante la solution éthérée, on la sèche sur du CO_3K_2. On épuise autant que possible la magnésie à l'éther, puis on la dissout à froid par une solution acétique. On épuise à l'éther la solution obtenue ; on sèche la solution éthérée par CO_3K_2. En opérant ainsi, nous avons évité la présence du carbinol lors de l'addition de l'acide et une saturation partielle possible : l'acide pouvant réagir sur le Mg qui serait en excès. Le rendement en a été notablement amélioré (60 % en moyenne). L'éther des solutions éthérées est chassé par distillation au moyen d'une colonne Crismer de 1 m. 20, le résidu est fractionné en présence de CaO par un déphlegmateur Crismer moins puissant (50 cm.). 1500 gr. de méthylvinylcarbinol passant de 95° à 97° ont été obtenus par ce procédé.

La solution aqueuse de ce carbinol a été alors saturée à froid par HBr gazeux (3). On obtient ainsi l'éther bromhydrique du carbinol qui en présence d'hydracide ne s'isomérise que partiellement sous l'action de la chaleur en bromure de crotyle. En outre le rendement en produit monobromé s'est montré très faible. Nous ne sommes pas parvenus à empêcher la formation

(1) LÉPINGLE, *Bull.*, IV, **39**, 864 (1926).
(2) DELABY, *Bull.*, IV, **27**, 609 et **33**, 609-711.
BAUDRENGHIEN, *Bull. Soc chim. de Belg.*, 160 (1922).
PRÉVOST, *Ann. de Chimie*, **10**, 147 (1928).
(3) *N. B.* — La note de Kirrman sur la préparation de $CH \equiv C - CH_2Br$ nous avait échappé et les travaux ici présentés sont antérieurs à la publication de ceux de Bouis et Prévost sur la transposition allylique.

en grande quantité de produits à point d'ébullition supérieur. Le rendement a été de 40 % (1160 gr.). Les 5/6 environ du monobromure passant de 100° à 104°, le restant de 104° à 107°.

II. — *Préparation de l'hexène par application de la réaction de Brooks et Humphrey.* — [1] Nous avons alors fait agir le brome d'éthyle Mg sur le bromure de crotyle en employant dans chaque opération une molécule-gr. de C_2H_5 Br et 0,85 mol.-gr. de bromure de crotyle. Le C_2H_5 Mg Br en solution dans 600 cc. d'éther anhydre est refroidi énergiquement dans un mélange de glace pilée et de sel. On dilue le bromure de crotyle dans son volume d'éther anhydre et on laisse tomber cette solution goutte à goutte dans la solution de l'alkyle magnésien. L'addition est effectuée en 8 heures environ. On trouve dans les ballons refroidis deux couches liquides, la couche inférieure contenant des cristaux. On abandonne les corps en contact à basse température pendant deux ou trois jours. Puis on décante et on épuise la couche inférieure et les cristaux à l'éther. Ces solutions éthérées sont jointes à celle de décantation ; on les lave à l'eau glacée. On agite énergiquement : un dépôt de magnésie se forme. On l'isole, on l'épuise à l'éther. Toutes les solutions éthérées sont jointes, additionnées dans CO^3K^2 et d'une pincée d'hydroquinone. On chasse l'éther de ces solutions par distillation au moyen d'une colonne Crismer de 1 m. 10 de hauteur de spires, puis le résidu est lui-même distillé. De 10 opérations on retire 120 gr. environ d'éthylénique passant de 41° à 76° (avec un maximum très net à 68°,0-68°,2) à côté d'un résidu à point d'ébullition plus élevé (220 gr.), alors que le rendement théorique en hexène$_2$ calculé à partir du bromure de crotyle mis en œuvre est de 715 gr. Toutes les fractions s'échelonnant entre 41° et 76° donnent avec Cu O dans la flamme du bec Bunsen la coloration verte caractéristique des dérivés halogénés. On élimine ceux-ci par additions répétées, à chaque fraction, de quelques fragments de Na. Chaque addition étant suivie de distillation. Ce traitement est poursuivi jusqu'à constance des densités des différentes fractions et absence de coloration de la flamme.

On recueille au quatrième tour de distillation une fraction principale

Eb. : 68°,0 — 68°,2/$_{760\ mm.}$ $\quad d_{\frac{15}{4}} = 0{,}6855$ $\quad n_{\frac{15}{\alpha}} = 1{,}3946$

$n_{\frac{15}{\beta}} = 1{,}4031$ $\quad n_{\frac{15}{D}} = 1{,}3974.$

Le dosage de la double soudure lui fait attribuer la formule d'un hexène.

III. — *Essais d'isomérisation de l'hexène$_2$ obtenu par la réaction de Br et H.* — Nous avons essayé successivement: 1° l'action d'une solution aqueuse d'HCl en présence et en l'absence d'hydroquinone, par agitation du mélange à la lumière diffuse et à la lumière solaire vive ; 2° l'action du brome, par addition de celui-ci à la lumière vive ; 3° l'action de quelques

[1] Les opérations suivantes sont faites à la chambre noire.

gouttes de l'hexène 2. ($d_{\frac{15}{4}}$ =0,6871) obtenu précédemment par déshydratation de l'hexanol par Al_2O_3.

Dans chaque cas, l'hydrocarbure est ensuite ou lavé et séché ou distillé (notamment pour éliminer les produits d'addition ou d'oxydation formés). La densité alors déterminée s'est montrée chaque fois identique à celle du produit initial :

$$d_{\frac{15}{4}} = 0{,}6855 \pm 0{,}0001.$$

Un essai d'isomérisation de l'hexène 2.(Eb. 68°,0-68°,2- $d_{\frac{15}{4}}$ =0,6871) par l'hexène du procédé Br et H a également été tenté; une quinzaine de grammes du premier placés dans un ballon de quartz sont additionnés à la lumière solaire vive de trois gouttes du second. Après un mois d'abandon à la lumière le liquide a acquis une odeur piquante caractéristique des produits d'oxydation de l'éthylénique ($d_{\frac{15}{4}}$ =0,6898). La distillation fournit un liquide $d_{\frac{15}{4}}$ =0,68715.

De ces différents essais d'isomérisation nous concluons que l'hexène$_2$ obtenu par l'action du bromure d'éthyle Mg sur le bromure de crotyle est, comme l'hexène$_2$, obtenu à partir du carbinol, inerte à la température ordinaire et qu'il résiste aux mêmes agents d'isomérisation dans des conditions semblables. En outre les deux liquides sont sans action l'un sur l'autre.

IV. — *Etude du produit de tête obtenu dans la réaction de Br et H.* — En redistillant très lentement, avec un déphlegmateur Crismer très puissant, l'éther recueilli lors de la distillation des solutions éthérées du produit de cette réaction, nous avons pu isoler un nouveau résidu (132 gr.) passant de 41° à 67°,8 dont les différentes fractions ont été débarrassées de produits halogénés par traitements répétés au Na. Après plusieurs tours de distillation on isole deux fractions principales : l'une (8 gr. 5) passant surtout de 54° à 55° sous 760 mm.

($d_{\frac{15}{4}} = 0{,}6826$, $n_{\frac{15}{\alpha}} = 1{,}3823$, $n_{\frac{15}{\beta}} = 1{,}3903$ $n_{\frac{15}{D}} = 1{,}3950$,)

l'autre (45 gr.) passant de 67°,8 à 67°,9 sous 760 mm. ($d_{\frac{15}{4}} = 0{,}6849$.)

Le dosage de la double liaison par la solution bromure-bromate nous indique que toutes deux sont des hexènes.

A. — *Etude de la fraction 54°—55°/760 mm.* — Afin de déterminer la position de la double soudure dans celle-ci nous sommes passés à l'acétylénique correspondant. Il ne semble pas réagir avec NO_3Ag alcoolique mais donne un précipité jaune avec le chlorure cuivreux ammoniacal. Nous avons donc affaire à un acétylénique vrai et l'hexène dont il provient possède la double liaison en fin de chaîne. Une hydrogénation de ce dernier, en

solution acétique, en présence de noir de Pt conduit à un indice d'H correspondant à la quantité calculée pour un hexène. L'hydrocarbure saturé recueilli passe de 63°,1 à 63°,3 sous 760 mm. ($d_{\frac{15}{4}}$ =0,6677[picn. 2 cc,5]). Ces constantes correspondent à celles du méthyle 3. pentane (Eb. 63°,2 sous 760 mm. $d_{\frac{15}{4}}$ =0,6687). Nous en déduisons que l'éthylénique formant la fraction *51°-55°* est le méthyle$_3$ – pentène 1. $CH_3 - CH_2 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH = CH_2$ qui proviendrait de l'action du bromure d'éthyle Mg sur le bromure du méthylvinylcarbinol souillant le bromure de crotyle que nous avons utilisé.

B. — La fraction 67°,8-67°,9 $d_{\frac{15}{4}}$ =0,6849 possède des indices de réfraction identiques à ceux que nous avons déterminés pour l'hexène 2. (Eb. 68°,0-68°2, $d_{\frac{15}{4}}$ 0,6855). Un essai d'isomérisation de cette fraction par une solution aqueuse de HCl à la lumière solaire échoue. Cette fraction d'hexène$_2$ est donc stable comme celles que nous avons obtenues précédemment.

Tableau comparatif des constantes obtenues pour l'hexène$_2$

	A. — *A partir de l'hexanol$_2$*		B. — *A partir du bromure de crotyle*	
	I. — par l'ac. paratoluène sulfonique	II. — par Al_2O_3	III. — retiré du 1er résidu de la solution éthérée	IV. — retiré du 2e résidu de la solution éthérée
Eb. 760 mm.	68°,0—68°,2	68°,0—68°,2	68°,0—68°,2	67°,8 69°,9
$d_{\frac{15}{4}}$	0,6863	0,6871	0,6855	0,6849
$n_{D}^{15°}$	— 1,3981	1,3980	1,3974	1,3974
$n_{H\alpha}^{15°}$	1,3956	1,3956	1,3946	1,3946
$n_{H\beta}^{15°}$	1,4044	1,4039	1,4031	1,4032

V. — *Etude du résidu de distillation de l'hexène préparé à partir du bromure de crotyle.* — Après 8 tours de distillation de ce résidu nous avons pu isoler deux fractions l'une prépondérante passant de 111°,5 à 113°,5 (63 gr. 5), l'autre de 124° à 126° (17 gr.). Toutes deux décolorent instantanément l'eau de brome.

1° *Etude de la fr. 111°,5—113°,5/760 mm.* $d_{\frac{15}{4}}$ = 0,7359,
$n_{\frac{15}{\alpha}}$ = 1,4227, $n_{\frac{15}{D}}$ = 1,4267, $n_{\frac{15}{\beta}}$ = 1,4330, $n_{\frac{15}{\gamma}}$ = 1,4391.

Elle accuse par cryoscopie dans le benzène un poids moléculaire (I) 110,25, (II) 112,9, correspondant à un hydrocarbure en C_8. Le dosage de la double soudure par la solution bromure-bromate et l'indice d'H nous font attribuer à ce corps la formule d'un octadiène $C_8H_{14}=110,1$. L'hydrogénation fournit un octane passant à 119°,1-119°,3 sous 760 mm.

$$d_{\frac{15}{4}} = 0,7117, \quad n_{\frac{15}{\alpha}} = 1,3994, \quad n_{\frac{15}{D}} = 1,4015, \quad n_{\frac{15}{\beta}} = 1,4063,$$
$$n_{\frac{15}{\gamma}} = 1,4105,$$

Il faut rejeter l'hypothèse que l'octadiène 111°,5-113°,5 soit l'octadiène 2.6 formé par enlèvement de brome entre deux molécules de bromure de crotyle, sa densité et ses indices étant nettement différents des valeurs de ces mêmes constantes déterminées pour ce corps par BRAUN et SCHIRMACHER [1], et en outre l'octane formé par l'hydrogénation possède un point d'ébullition nettement inférieur à celui de l'octane *n*. (125°,8). Nous sommes ainsi amenés à supposer que cet octadiène proviendrait de l'enlèvement du brome par le Mg soit entre une molécule de bromure de crotyle et une molécule de bromure du méthylvinylcarbinol, soit entre deux molécules de ce dernier. Ce qui donnerait dans le premier cas le méthyle 3. heptadiène 1. 5.: $CH_3-CH=CH-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH=CH_2$; dans le second cas le diméthyle 3. 4. hexadiène 1. 5.: $CH_2=CH-\underset{\displaystyle CH_3}{CH}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH=CH_2$, tous deux sont inconnus. Le premier doit fournir par hydrogénation le méthyle$_3$ heptane, le second le diméthyl 3. 4. hexane. Or les constantes physiques du produit d'hydrogénation de l'octadiène ne correspondent aux constantes de la littérature ni de l'un, ni de l'autre de ces octanes. Ne pouvant tabler sur les données de la littérature présentant ici de grandes discordances, il nous restait à préparer ces hydrocarbures saturés à l'état de grande pureté. Le méthyle$_3$ heptane a été obtenu par la déshydratation du méthyle$_3$ heptanol 3. par la méthode de Wuyts suivie de l'hydrogénation de l'éthylénique ainsi formé, à la température ordinaire, en présence de noir de Pt. Il bout à 119°,0 ± 0°,05 sous 760 mm.

$$d_{\frac{15}{4}} = 0,7095, \quad n_{\frac{15}{\alpha}} = 1,3990, \quad n_{\frac{15}{\beta}} = 1,4059, \quad n_{\frac{15}{\gamma}} = 1,4100,$$

Nous constatons qu'il y a concordance entre ces constantes et celles du produit d'hydrogénation de l'octadiène. En outre l'étude comparative des propriétés physiques des hydrocarbures saturés fait prévoir que le diméthyle 3. 4. hexane (dont nous nous proposons de faire la synthèse) doit avoir un point d'ébullition de 3 ou 4 degrés plus bas et une densité et des indices

[1] *C.*, I, 954 (1923).

plus grands. Nous pouvons donc en conclure que l'octadiène 111°,5-113°,5/760 mm. est le méthyle 3. heptadiène 1. 5.

2° *Etude de la fr. 124° — 126°/760 mm.* $d_{\frac{15}{4}} = 0{,}7500$,

$n_{\frac{15}{\alpha}} = 1{,}4313$, $n_{\frac{15}{D}} = 1{,}4343$, $n_{\frac{15}{\beta}} = 1{,}4418$, $n_{\frac{15}{\gamma}} = 1{,}4481$.

La détermination du poids moléculaire par cryoscopie dans le benzène conduit aux valeurs 109,9 et 110,9 ce qui correspond à un hydrocarbure en C_8. Il est non saturé. La quantité de Br absorbée par l'action de la solution bromure-bromate dépasse de beaucoup celle qui correspond à la présence d'une double soudure, mais elle est inférieure à la quantité calculée pour un octadiène. On trouve: (I) 85,9 %, (II) 87 % de la quantité théorique. On essaie le dosage de la double soudure par la méthode de CLARKE [1]. La quantité de Br fixé trouvée expérimentalement correspond à (*a*) 79,8 %, (*b*) 80,5 % de la quantité théorique de Br qui devrait s'additionner sur les deux doubles liaisons d'un octadiène. En tenant compte de la quantité de Br substitué nous remarquons qu'il y a concordance entre les résultats expérimentaux des deux méthodes. L'hydrogénation en présence de noir de Pt fournissant un indice d'H qui correspond bien à la valeur calculée pour un octadiène, nous concluons qu'il y a un empêchement à la fixation totale du brome.

L'hydrocarbure saturé formé passe à la distillation au-dessus de 125° principalement de 125°,5 à 125°,8,

$d_{\frac{15}{4}} = 0{,}7081$, $n_{\frac{15}{\alpha}} = 1{,}3983$, $n_{\frac{15}{\beta}} = 1{,}4053$, $n_{\frac{15}{\gamma}} = 1{,}40935$,
$n_{\frac{15}{D}} = 1{,}4004$.

Ces indices correspondent à trois ou quatre unités de la quatrième décimale aux valeurs des indices de l'octane normal [2]. (Eb. 125°,8, $d_{\frac{15}{4}}=0{,}7064$).

Le produit que nous avons obtenu n'est donc pas pur mais l'hydrocarbure saturé normal ayant un point d'ébullition supérieur à ceux des hydrocarbures à même nombre d'atomes de C mais à chaîne ramifiée, nous pouvons en conclure que l'octane formé par hydrogénation de la fraction 124°-126° est l'octane *n*. L'octadiène qui lui a donné naissance serait donc l'octadiene 2. 6. souillé peut-être par l'isomère plus volatil.

---

(1) CLARKE, *Handbook of organic Syntheses*, 324.

(2) I. TIMMERMANS, *Journ. Ch. Phys.*, **25**, 413 (1928).

Résumé

L'action de C_2H_5MgBr sur le bromure de crotyle souillé d'isomère secondaire par suite du mode de préparation adopté (saturation par l'H Br de la solution aqueuse du méthylvinylcarbinol) conduit :

1° A un seul des deux isomères éthyléniques possibles de l'hexène 2. Comme la forme obtenue à partir de l'hexanol 2. il est inerte et résiste aux différents agents d'isomérisation utilisés. Les légères différences entre les constantes physiques de cet éthylénique préparé par différents procédés semblent pouvoir être attribuées à une insuffisance dans sa purification. L'hexène 2. obtenu par la réaction de Brooks et Humphrey (III et IV) présente une densité et des indices plus faibles que ceux de l'éthylénique obtenu par désydratation de l'hexanol 2. (I et II). Remarquons que nous avons été obligés d'employer pour le fractionnement de l'hexène$_2$ en III et IV un déphlegmateur beaucoup moins puissant qu'en I et II. L'hexène 2. obtenu à partir du bromure de crotyle (III et IV) serait souillé par l'isomère de tête, le méthyle 3. pentène 1., de densité et d'indices notablement plus faibles que ceux de l'hexène 2.

2° Au méthyle 3. pentène$_1$ dont nous nous proposons de faire la synthèse par une autre voie.

3° A des produits de queue parmi lesquels nous avons isolé deux octadiènes: l'un passant de 111°,5 à 113°,5 sous 760 mm. est le méthyle 3. heptadiène 1. 5.; l'autre de point d'Eb. 124°-126° sous 760 mm. est l'octadiène 2. 6.

RECHERCHES SUR LES HYDROCARBURES $C_5 H_{10}$ PENTÈNES ET DIMÉTHYLCYCLOPROPANES 1. 2.

par Jean BAUDRENGHIEN,

Chef de travaux de chimie générale à l'Université de Gand

Ayant préparé dernièrement les deux diméthylcyclopropanes 1. 2. (1) j'avais été amené à reprendre l'étude de leurs isomères, les pentènes. Ceux-ci ont été l'objet de nombreux travaux mais les données relatives à leurs propriétés sont assez discordantes. De plus j'avais observé dans des recherches préliminaires que plusieurs de ces corps s'isomérisaient facilement en présence de catalyseurs.

La préparation des pentènes

La préparation de ces composés à l'état pur nécessite un choix judicieux des méthodes à employer. Beaucoup de procédés anciens conduisent à l'obtention de mélanges.

1° Le pentène-1 ne s'obtient qu'en petite quantité (4 %) par l'action de la potasse alcoolique sur l'iodure d'amyle primaire. Il se forme surtout de l'éther méthylamylique. L'enlèvement d'H Br par la pyridine ne réussit pas.

On l'obtient facilement, d'après les indications de Kirman (2) en traitant le bromure d'allyle par $C_2 H_5$ Mg Br dans l'oxyde de butyle ce qui permet la séparation facile du pentène par distillation. J'ai observé la formation d'un peu de butane et de diallyle.

2° J'ai préparé le pentène-2 par l'action de la potasse alcoolique sur le bromure du diéthylcarbinol. Le rendement en hydrocarbure est de 85 %, le reste est de l'éther-oxyde. Son point d'ébullition et son indice de réfraction concordent avec les données de Mlle Van Risseghem (3) qui l'a préparé par déshydratation catalytique du diéthylcarbinol. J'utiliserai les données de ce chercheur.

3° Pour obtenir le 2-méthylbutène-1, j'ai préparé par synthèse le 2-méthylbutanol-1. L'éther bibromé de celui-ci s'isomérise à la distillation et son traitement par la potasse alcoolique donne 53 % d'hydrocarbure distillant de 31° à 38°, renfermant donc du triméthyléthylène, et 47 % d'éther-oxyde mixte du 2-méthylbutanol-1 et de méthyle. L'éther iodé distillé dans le vide ne s'isomérise pas et donne 90 % de 2-méthylbutène-1 exempt d'autres pentènes.

La déshydratation du 2-méthylbutanol-1 par Al_2O_3 à 380° selon Norris (4) m'a donné un mélange bouillant de 31° jusque 38°.

4° Pour obtenir l'isopropyléthylène j'ai eu d'abord recours à la méthode de NORRIS (4) : extraire à l'acide sulfurique l'amylène brut provenant de la déshydratation de l'alcool isoamylique de fermentation. Le résidu d'extraction que j'ai obtenu n'avait pas un point d'ébullition constant. Aussi ai-je tenté de déshydrater par l'acide oxalique l'alcool isoamylique de synthèse. Je n'ai obtenu que du formiate d'isoamyle.

L'action de la potasse alcoolique sur l'iodure d'isoamyle ne donne que 20 % d'isopropyléthylène mais il est exempt d'isomère. Si on remplace le dissolvant, alcool méthylique, par l'alcool amylique tertiaire le rendement est beaucoup moins bon. Le remplacement de la potasse par la pyridine ne conduit qu'à la formation d'un iodure de pyridinium stable.

J'ai obtenu également l'isopropyléthylène exempt d'isomère, par l'action du bromure d'isopropylemagnésium sur le bromure de vinyle. La réaction est lente à température ordinaire. On chauffe à 100° dans un matras scellé pendant quatre heures et on distille le pentène. On le débarrasse du bromure de vinyle qui le souille par contact prolongé sur du sodium.

5° Je ne suis pas parvenu à obtenir le triméthyléthylène exempt d'isomère, dans une réaction. J'ai eu d'abord recours à la méthode de NORRIS (4) : déshydratation de l'alcool amylique tertiaire par l'acide oxalique ou l'acide sulfurique. Dans les deux cas j'ai obtenu un mélange de 2-méthylbutène-1 et de triméthyléthylène qu'il faut scinder par rectification. J'ai essayé d'extraire du produit brut, le triméthyléthylène pur en le transformant en dibromure. L'action du brome isomérise la substance et il ne m'a été possible de séparer par cristallisation fractionnée qu'un échantillon de pureté relative, de point de fusion : 12°,4 à 11°,8. Celui-ci traité par le zinc en présence d'alcool méthylique ne donne pas un produit unique ; en présence d'acide acétique glacial il se forme surtout des polymères. J'ai dû me résoudre pour isoler le triméthyléthylène à rectifier soigneusement les produits bruts notamment celui qui provient de la déshydratation catalytique de l'alcool amylique de fermentation.

Le triméthyléthylène ainsi obtenu et l'isopropyléthylène, préparés par d'autres procédés que ceux de Norris ont des constantes physiques concordant avec celles que celui-ci donne.

La rectification des pentènes se faisait dans une colonne « Vigreux » de 1 m. Quand je ne pouvais opérer en hiver, j'assurais le refroidissement de la colonne par un manchon d'eau glacée séparé de la colonne par une couche d'air aussi mince que possible. La dessiccation finale des produits se faisait au moyen de sodium ou plus souvent par l'action d'un peu de solution de CH_3MgBr dans $(C_4H_9)_2O$, qui enlève des traces d'alcool amylique beaucoup plus facilement que le sodium. Je décrirai maintenant quelques propriétés physiques des pentènes et des diméthylcyclopropanes.

La température d'ébullition et la température critique

	t éb	t cr
Pentène 1	29°,9 ± 0°,05 ss 758 mm.	195°,4
Pentène 2	36°,58 — 36°,6 » 764,5 »	200°,4
2 - méthylbutène - 1	31°,5 — 31°,6 » 764,3 »	195°,8
Isopropyléthylène	20°,28 — 20°,30 » 764,9 »	179°,4
Triméthyléthylène	38°,65 — 38°,70 » 765 »	205°,5
Diméthylcyclopropane	37°,5 » 760 »	209°,2
Diméthylcyclopropane	28°,9 » 760 »	192°,2

Les densités

Les densités ont été déterminées au moyen d'un picnomètre scellé de 15 cm³. Outre la correction de pesée au vide, il en est une autre qui s'impose, c'est la soustraction du poids de la vapeur se trouvant dans la partie supérieure du picnomètre, correction qui affecte parfois la quatrième décimale. J'ai mesuré, pour cela, la tension de vapeur saturée à différentes températures.

Pentène 1	$d_{10°}$	0,65112	$d_{20°}$	0,64080		
2 - méthylbutène - 1	$d_{0°}$	0,67141	$d_{10°}$	0,66119	$d_{20°}$	0,65077
Isopropyléthylène	$d_{0°}$	0,64770	$d_{10°}$	0,63717	$d_{20°}$	0,62646
Triméthyléthylène	$d_{0°}$	0,68197	$d_{20°}$	0,66207		

Les indices de réfraction et réfraction moléculaire

	t	H_α	D	H_β	H_γ	RM H_α
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH = CH_2$	20°	1,36881	1,37138	1,37683	1,38151	24,666
$CH_3 - CH = CH - CH_2 - CH_3$	17°,2	1,37930	—	1,38780	—	24,771
$CH_3 - CH_2$, CH_3 > $C = CH_2$	20°	1,37562	1,37802	1,38405	1,38910	24,688
CH_3, CH_3 > $CH - CH = CH_2$	15°	1,36471	1,36739	1,37272	1,37745	24,763
CH_3, CH_3 > $C = CH - CH_3$	20°	1,38485	1,38733	1,39371	1,39897	24,797

Les indices de réfraction ont été déterminés au réfractomètre de Pulfrich-Hilger. L'examen des réfractions moléculaires pour la raie H_α (dernière colonne) est une preuve nouvelle de la vanité des constantes réfractométriques, thèse qu'a démontrée M. Swarts (5) dans son travail sur la réfractométrie des dérivés fluorés. Il est évident que dans ces pentènes la ramification et la position de la double liaison ont une influence sur les propriétés physiques. Sans vouloir donc établir la valeur d'incréments dû à la liaison éthylénique, on peut cependant faire les remarques suivantes : Les deux pentènes dont la double liaison se trouve entre les atomes de carbone 2 et 3 ont des réfractions moléculaires plus grandes que les pentènes de même squelette carbonique ayant la double liaison terminale.

Les pentènes à chaîne ramifiée ont des réfractions moléculaires plus grandes que les pentènes à chaîne rectiligne, la double liaison se trouvant en même position dans les deux cas.

Si maintenant on retranche, comme Eyckman l'a fait, la réfraction moléculaire de ces composés, de la réfraction moléculaire de l'hydrocarbure saturé de même squelette, on trouve :

pour le pentène 1	(éthylène monosubstitué)	0,55
pentène 2	(— bisubstitué)	0,45
2 - méthylbutène - 1	(— —)	0,50
isopropyléthylène	(— monosubstitué)	0,40
triméthyléthylène	(— trisubstitué)	0,39

Eykman avait cru établir que cet incrément variait d'une même quantité à chaque substitution d'un atome d'hydrogène dans l'éthylène. Il avait reconnu que le triméthyléthylène faisait exception à la règle et Holleman avait montré que cette règle ne pouvait être suivie. Les données que j'ai réunies confirment la chose.

La viscosité

Les viscosités des cinq pentènes et des deux diméthylcyclopropanes ont été déterminées au moyen du viscosimètre de M. Martin. Les résultats expérimentaux sont rassemblés dans le tableau suivant, où la fluidité φ représentant l'inverse de la viscosité η.

Composé étudié :	Kp. 760	Fluidités φ à 10°	20°	30°	au Kp.
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH = CH_2$	30°	*449,8* (1)	471,3	*493,9* (2)	518
$CH_3 - CH_2 - CH = CH - CH_3$	36°4	421	460,9	502,7	530
$(CH_3 - CH_2)(CH_3) > C = CH_2$	31°3	431,4	474	516,8	523
$(CH_3)(CH_3) > CH - CH = CH_2$	20°1	464,9	*491,6* (3)	*502,3* (4)	513
$(CH_3)(CH_3) > C = CH - CH_3$	38°4	432	471,3	512,3	548
$CH_2 < (CH - CH_3)(CH - CH_3)$	37°5	334,1	369,6	406,7	436
$CH_2 < (CH - CH_3)(CH - CH_3)$	28°9	391,9	431	—	467

(1) à 15° (2) à 25° (3) à 15°7 (4) à 17°9

Pour comparer les fluidités de ces composés il faut les examiner à des états correspondants. C'est pourquoi j'ai extrapolé les fluidités jusqu'à la température d'ébullition.

Je me suis servi pour cela de la formule proposée par M. VAN AUBEL (6): $\varphi = m + n \log (\Theta - t)$. Les constantes m et n ont été établies au moyen des deux points extrêmes et de la température critique Θ. En calculant φ_{20} : au moyen de ces données et en comparant avec les résultats expérimentaux, on constate la bonne concordance de ces chiffres. (Ecart maximum : 4 pour mille.)

Si on examine ces fluidités à la température d'ébullition on constate que les dérivés cyclopropaniques sont beaucoup plus visqueux que les pentènes. La viscosité plus grande des composés cycliques est un fait général. La différence de viscosité des deux stéréoisomères cyclopaniques est grande également. Des différences moins grandes s'observent chez les éthyléniques. On constate chez ceux-ci que la fluidité à la température d'ébullition diminue quand la volatilité augmente. C'est l'inverse chez les cyclopropanes.

Si on compare à leur température d'ébullition la fluidité des pentènes ayant la double liaison en 1,2, à celle des pentènes à double liaison en 2,3, mais de même squelette carbonique, on constate que les seconds sont plus fluides.

Si on compare la fluidité à la température d'ébullition des pentènes ayant la double liaison en même position on constate que les dérivés ramifiés sont plus fluides que les autres. Il y a cependant exception pour l'isopropyléthylène.

En résumé, j'ai apporté quelque contribution à l'étude des hydrocarbures C_5H_{10} en ce qui concerne principalement leurs propriétés physiques ; je me propose d'y ajouter prochainement quelques notes au sujet des transformations qu'ils subissent sous l'action d'agents d'isomérisation.

---

(1) *Bull. Acad. Roy. Belg.*, V, **15**, 53.
(2) *Bull. Soc. Chim. France*, **39**, 988 (1926).
(3) *Bull. Soc. Chim. Belgique*, **28**, 188 (1914).
(4) *J. Am. Chem. Soc.*, 873 et 2624 (1927).
(5) *Journ. de chimie physique*, **20**, 30 (1923).
(6) *Comptes rendus Acad. Sciences, Paris*, 384 (1921).

SOLUBILITÉ DE CERTAINS STÉRÉOISOMÈRES ÉTHYLÉNIQUES DANS DES DISSOLVANTS EUX-MÊMES STÉRÉOISOMÈRES ÉTHYLÉNIQUES

par I. LEBRUN,

Docteur en sciences.

Les méthodes habituelles pour la détermination des configurations des isomères éthyléniques sont des méthodes se basant sur des transformations d'ordre chimique.

Les deux principales sont celles déduites :

1° Du postulat de van 't Hoff quand l'un des isomères par réaction de ses deux groupements (sans modification de la double soudure) donne un composé cyclique (acide maléïque ⟶ anhydride maléïque) ;

2° De la règle des trans-addition et de trans-élimination de Michaël.

Ces méthodes, quoique très générales, ne peuvent cependant être utilisées dans tous les cas [1] ; la structure et les propriétés de certains stéréoisomères ne permettant pas leur application.

Pour y remédier, on a essayé de déduire des règles déterminant les relations existant entre la configuration des isomères et leurs constantes physiques.

Ces propriétés physiques sont : le pouvoir réfringent moléculaire, la constante d'ionisation, les phénomènes de syncristallisation, les points de fusion et d'ébullition, le pouvoir inducteur spécifique, la chaleur de combustion, etc.

Ces règles ont été l'objet de nombreux travaux. Plusieurs paraissent très générales et peuvent donner des renseignements intéressants quant à la configuration des stéréoisomères éthyléniques.

Notre travail est de même nature et vise un but identique.

Dans un article publié dans *La Revue générale des Sciences* [2] M. Chavanne fait la remarque suivante :

« Jusqu'ici il ne paraît pas qu'on ait songé à étudier la solubilité des stéréoisomères éthyléniques dans des couples de dissolvants stéréoisomères éthyléniques. Il est permis de penser qu'on tirerait d'une telle étude des indications précieuses sur les configurations. »

C'est donc sur la demande de M. Chavanne que nous avons entrepris des mesures dans ce sens. Elles ont été effectuées en 1925.

(1) Dufraisse, *Ann. de Ch.* (1922), 133.

(2) G. Chavanne, *La stéréoisomérie éthylénique* (Revue Générale des Sciences mai-juin 1924).

On sait que les mesures de solubilité des stéréoisomères éthyléniques ont montré que, pour un solvant quelconque, l'isomère ayant le point de fusion le plus bas est le plus soluble.

On connaît une seule exception, l'acide β éthylcinnamique, et encore doit-elle être acceptée avec réserve.

Soit un couple de stéréoisomères éthyléniques solides C et T et un couple de dissolvants stéréoisomères liquides Dc et DT.

Supposons que le point de fusion de C soit inférieur à celui de T, sera-t-il plus soluble que T à la fois dans Dc et DT malgré la parenté de configuration de T et DT ?

D'autre part, quelle que soit la réponse donnée par l'expérience à cette première question, comment répondra-t-elle à la suivante :

Si C est plus soluble dans Dc que dans DT, inversement T sera-t-il plus soluble dans DT que dans Dc ?

Telles sont les hypothèses de travail que M. Chavanne nous a demandé de prendre comme base de ces recherches.

Le travail que nous présentons est bien fragmentaire et ne peut être considéré que comme une première exploration à grands pas d'un vaste domaine ; néanmoins, les résultats obtenus nous semblent présenter quelque intérêt.

Mesures de solubilité. — Mode opératoire

Nous disposions donc de plusieurs couples de stéréoisomères pouvant servir de dissolvants.

Leurs formules spatiales présentent des symétries différentes :

Pour les bichlorures d'acétylène la formule est très symétrique du type

$$a\,b\,C = C\,b\,a\,;$$

les bromobutènes et les nitriles crotoniques n'ont plus que deux groupements identiques des deux côtés de la double liaison

$$a\,b\,C = C\,d\,a\,;$$

quant aux β chlorocrotonates, ils ont leurs quatre groupements différents

$$a\,b\,C = C\,d\,e.$$

Les stéréoisomères solides présentent aussi des différences de symétrie ; ils diffèrent par des groupements tels que CH^3, Cl, COOH, C^6H^5 ou encore par l'introduction d'une longue chaîne hydrocarbonée des acides oléique élaïdique.

Les solubilités ont été prises par la méthode analytique ordinaire : le corps soluble en excès est agité longuement à température constante avec le dissolvant. On détermine la concentration de temps en temps jusqu'à obtenir une valeur constante pour celle-ci (solution saturée).

TABLEAU DES COUPLES DE STÉRÉOISOMÈRES
PRÉPARÉS AVEC LA BIBLIOGRAPHIE FIXANT LEUR STUCTURE SPATIALE

Ac. fumarique (Kékulé & R. Anschutz) (1)	T HOOC H | | C = C | | H COOH	C HOOC COOH | | C = C | | H H	Ac. maléïque (Kékulé & R. Anschutz)
Ac. mésaconique (par analogie ac. fumarique)	HOOC H | | C = C | | H COOH	HOOC COOH | | C = C | | H^3C H	Ac. citraconique (par analogie ac. maléïque)
Ac. crotonique (Auwers) (2)	H^3C H | | C = C | | H COOH	H^3C COOH | | C = C | | H H	Ac. isocrotonique (Auwers) 2)
Ac. β chlorocrotonique (par analogie ac. crotonique)	H^3C H | | C = C | | Cl COOH	H^3C COOH | | C = C | | Cl H	Ac. β chloroisocrotonique (par analogie ac. isocrotonique)
Ac. oléïque (Baruck) (4)	$CH^3 . (H^2C)^7$ H | | C = C | H $(CH^2$ 7. COOH	$CH^3 . (CH^2)^7$ $(CH^2)^7$. COOH | | C = C | | H H	Ac. élaïdique (Harries) (5)
Ac. cinnamique Biilmann) (3)	C^6H^5 H | | C = C | | H COOH		
(1) Kékulé & R. Anschütz, B., t. 14, p. 713 (1881). (2) Auwers, B., t. 56, 715 (1923). (3) Biilmann, B., 43, 1, p. 568 (1910). (4) Baruck, B., 27, p. 172. Le Sueur, Soc., 85, p. 1716. (5) Harriès, A., 343, p. 354. (6) Authenrieth, B., 29, p. 1666.		H^3C $CONH^2$ | | C = C | | Cl H	acide β chlorisocrotonique (Autenrieth) (6)

Température — Appareillage

La solubilité des isomères solides dans les solvants était fort différente. Pour la facilité des mesures d'une part, et l'économie des produits employés d'autre part, nous choisissions par une mesure préliminaire, la température de l'expérience et la quantité de produits à employer.

COUPLES DE STÉRÉOISOMÈRES SERVANT DE DISSOLVANTS

Bichlorure d'acétylène Trans. (G. Chavanne) (1)	T Cï H | | C = C | | H Cl	Cl C Cl | C = C | | H H	Bichlorure d'acétylène Cis (G. Chavanne) (1)
Bromobutène 2. Trans (M. Lépingle) (2) Eb. 85°5	H^3 H | | C = C | | Br CH^3	H^3C CH^3 | | C = C | | Br H	Bromobutène . 2 . Cis (M. Lépingle) (2) Eb. 94°9
Nitrile crotonique cb 121° (Bruylants) (3)	H^3C H | | C = C | | H CN	H^3C CN | | C = C | | H H	Nitrile crotonique cb 1070 (3)
		H^3C $COOC^2H^5$ | | C = C | | Cl H	β chloroisocrotonate d'éthyle (Par analogie Ac. isocrotonique)

Pour les substances assez peu et peu solubles, nous avons opéré entre les limites de 20 et 50°.

Pour les substances très solubles, les expériences ont été faites à 0°. Nous avons opéré de la manière suivante :

On maintenait au fond de la cuve, à l'aide d'une toile métallique, des blocs de glace de 10 cm. d'épaisseur environ. Le remplissage était achevé avec de l'eau froide et une grande quantité de glace très finement pilée. Si l'agitation était maintenue énergique, la température se maintenait facilement entre 0° et + 0°, 05.

Les flacons employés étaient bouchés à l'aide de bouchons en liège recouverts d'une feuille de caoutchouc empêchant tout contact avec l'eau du thermostat.

Lors du prélèvement, le flacon était maintenu dans le thermostat à l'aide d'une pince permettant l'enlèvement facile de la toile anglaise et du bouchon.

Détermination de la concentration

a) La solution pipetée était pesée très exactement.

b) On déterminait le poids du corps dissous par des méthodes analytiques appropriées.

c) Le poids du corps dissous étant déterminé, le poids de la solution étant connu, on déduisait celui du solvant pur.

Toutes les solubilités prises ont été ramenées à 100 gr. de dissolvant.

(1) G. Chavanne, *Bul. Soc. Ch. Belg.* (1914), p. 234.
(2) M. Lépingle, Thèse Un. de Bruxelles, inédit.
(3) Bruylants, Communication privée.

Précision

Les erreurs provenant de la pesée et de la variation de température du thermostat peuvent être considérées comme négligeables.

L'erreur sur le poids de la substance dissoute provient principalement du titrage. Il faut tenir compte de la netteté du virage.

En ramenant à 100 gr. de dissolvant, l'erreur commise est multipliée par le rapport $\frac{100}{p}$ p étant le poids du solvant de la prise.

L'approximation que nous donnons dans les tableaux de solubilité tient compte de ces facteurs. Pour les faibles solubilités, nous prélevions 30 à 40 gr. de solution, ce qui permettait en ramenant à 100 gr. de solvant, d'obtenir une approximation très grande.

Les valeurs obtenues pour les solubilités par différentes expériences ne divergeaient pas plus que les erreurs prévues.

Nous disposions d'une quantité de bichlorure d'acétylène assez considérable. Ceci nous a permis de faire quelques essais sur les solubilités faites dans des conditions expérimentales différentes.

1° On ajoutait un excès de substance au dissolvant puis on plaçait la solution dans le thermostat à une température donnée. La concentration du corps dissous dans la solution *augmentait* jusqu'à une valeur constante. On obtenait ainsi la solubilité-limite par augmentation de la concentration.

2° L'essai inverse était fait en portant la solution saturée à une température supérieure à celle du thermostat pendant un temps assez long. Une fois portée dans le thermostat la concentration en corps dissous diminuait. On obtenait ainsi la solubilité-limite par diminution de la concentration.

Ces deux solubilités-limites ont été trouvées égales ; elles ne variaient jamais plus que l'erreur expérimentale prévue.

Conditions d'expérience

Les expériences ont été faites dans des conditions expérimentales telles que la stéréomutation des isomères soit réduite au minimum pendant la durée des mesures. Toutes les manipulations indiquées plus haut se faisaient à la chambre noire. Les dissolvants stéréoisomères conservés en présence d'alcool absolu n'en ont été séparés qu'immédiatement avant la mesure.

La distillation des isomères dissolvants après les mesures a montré qu'il n'y avait pas eu stéréomutation appréciable au cours des expériences.

Remarque concernant l'acide citraconique

L'acide citraconique se déshydrate après un contact très prolongé avec le bichlorure d'acétylène à la température de 40°. Au bout de cinq heures, il y a formation de deux phases liquides bichlorure + anhydride citraconique.

Les résultats du titrage sont ainsi faussés, de l'anhydride étant entraîné

avec le bichlorure lors du prélèvement. La solubilité calculée augmente continuellement. Cependant, pendant la première heure, la solution pipetée est parfaitement claire et la valeur de la solubilité presque constante.

Solubilité dans 100 gr. dissolvant		T	Durée de l'expérience
Bichlorure cis.	Bichlorure trans.		
0,69 gr.	0,47 gr.	40°	1 h. 10′
0,70 gr.	0,47 gr.	40°	1 h. 25′
0,94 gr.	0,85 gr.	40°	4 h. 45′
1,24 gr.	1,00 gr.	40°	8 h.

L'acide ne se décompose qu'au bout d'un certain temps. L'équilibre de concentration est très vite atteint ; on peut donc considérer la valeur trouvée après 1 h. 10′ comme très proche de la valeur exacte. C'est celle que nous donnons dans le tableau des solubilités.

Dissolvant : Bichlorure d'acétylène cis. Kp 760 : 60°2

Substance dissoute	Température de l'expérience	Solubilité dans 100 g. dissolvant	Approximation
Acide β chlorocrotonique :	0°	5,75 g.	+ 0,02
A. β chloroisocrotonique	0°	32,20 g.	+ 0,04
A. crotonique	0°	20,83 g.	± 0,03
A. isocrotonique	0°	> 100 g.	——
A. cinnamique	0°	2,32 g.	± 0,02
A. mésaconique	40°	0,006 g.	± 0,002
A. citraconique	40°	0,69 g.	(1)
A. maléïque	40°	0,049 g.	± 0,002
A. fumarique	40°	<0,002 g.	± 0,002
A. élaïdique	0°	6,20 g.	± 0,03
A. oléique	0°	> 100 g.	——
Amide β chloroisocrotonique :	39°	3,11 g.	0,01

1) Voir la remarque faite pour l'acide citraconique

Dissolvant : Bichlorure d'acétylène Trans Kp 760 : 48°3

Substance dissoute	Température de l'expérience	Solubilité dans 100 g. de dissolv.	Approximation
A. β chlorocrotonique	0°	2,36 g.	± 0,02
A. β chloroisocrotonique	0°	37,29	± 0,03
A. crotonique	0°	17,12	± 0,02
A. isocrotonique	0°	> 100 g.	
A. cinnamique	0°	1,93	± 0,02
A. mésaconique	10°	0,056	± 0,002
A. citraconique	10°	0,047	(1)
A. maléïque	10°	0,076	0,002
A. fumarique	10°	<0,002	0,002
A. élaïdique	0°	10,97	0,03
A. oléïque	0°	100 g.	——
Amide β chloroisocrotonique	39°	> 1,64	0,02

(1) Voir la remarque faite pour l'acide citraconique.

Dissolvant : β chloroisocrotonate d'éthyle Cis

Substance dissoute	Température de l'expérience	Solubilité dans 100 g. de dissolv.	Approximation
A. β chlorocrotonique	20°	8,93	± 0,05
A. β chloroisocrotonique	20°	58,1	± 0,2
A. cinnamique	20°	4,38	± 0,05
A. élaïdique	25°	47,7	± 0,3
A. oléïque	0°	> 100 g.	——

Dissolvant : Bromobutène 2. Cis Kp 760 : 94°9

Substance dissoute	Température de l'expérience	Solubilité dans 100 g. de dissolv.	Approximation
A. β chlorocrotonique	0°	1,46	± 0,03
A. β chloroisocrotonique	0°	16,96	± 0,03
A. cinnamique	40°	4,65	± 0,2
A. crotonique	0°	8,62	± 0,02
A. isocrotonique	0°	>100 g.	——
A. élaïdique	0°	3,68	± 0,03
A. oléïque	0°	>100 g.	——

Dissolvant : Bromobutène 2. Trans Kp. 760 : 85°5-85°6

Substance dissoute	Température de l'expérience	Solubilité dans 100 g. de dissolv.	Approximation
A. β chlorocrotonique	0°	1,15	∓ 0,02
A. β chloroisocrotonique	0°	17,30	± 0,03
A. cinnamique	40°	3,68	± 0,02
A. crotonique	0°	7,88	± 0,02
A. isocrotonique	0°	> 100 g.	——
A. élaidique	0°	4,10	± 0,03
A. oléique	0°	> 100 g.	——

Dissolvant : Nitrile crotonique Kp. 760 : 107°7 - 108°2

Substance dissoute	Température de l'expérience	Solubilité dans 100 g. de dissolv.	Approximation
A. cinnamique	30°	10,27	0,03
A. mésaconique	30°	1,09	0,01
A. ci raconique	30°	30,52	0,02
A. maléique	50°	5,80	0,01
A. fumarique	50°	0,076	0,004
A. élaïdique	25°	17,45	0,05
A. olé que	0°	39,1	0,1

Dissolvant : Nitrile crotonique Kp. 760 : 121°8 - 122°2

Substance dissoute	Température de l'expérience	Solubilité dans 100 g. de dissolv.	Approximation
A. cinnamique	30°	9,72	0,03
A. mésaconique	30°	0,72	0,01
A. citraconique	30°	25,93	0,03
A. maléique	50°	4,58	0,01
A. fumarique	50°	0,034	0,004
A. élaidique	25°	12,33	0,05
A. oléique	0°	30,2	

Conclusions

I. — Si on considère deux stéréoisomères éthyléniques solides dissous dans divers dissolvants stéréoisomères ou non, on constate qu'il y a une certaine indépendance de la grandeur de la solubilité vis-à-vis de la nature du dissolvant. Cette grandeur paraît dépendre d'abord au premier chef de la configuration du stéréoisomère dissous. Exemples : (voir tableaux des solubilités).

A. β chloroisocrotonique (C) / A. β chloroisocrotonique (T) } dans les 2 bichlorures d'acétylène cis et trans
» » 2 bromobutène . 2 . cis et trans
» le β chloroisocrotonate d'éthyle (cis)

A. oléïque (T) / A. élaïdique (C) } dans les 2 bichlorures d'acétylène cis et trans
» » 2 bromobutène . 2 . cis et trans
» » 2 nitrites crotoniques cis et trans
» le β chloroisocrotonate d'éthyle (cis)

A. isocrotonique C) / A. crotonique (T) } dans les 2 bichlorures d'acétylène cis et trans
» » 2 bromobutène . 2 . cis et trans

A. citraconique (C) / A. mésaconique (T) } dans les 2 bichlorures d'acétylène cis et trans
» » 2 nitriles crotoniques cis et trans

A. maléïque (C) / A. fumarique (T) } dans les 2 bichlorures d'acétylène cis et trans
» » 2 nitriles crotoniques cis et trans

Dans tous ces dissolvants, quelle que soit leur fonction chimique et leur configuration, les acides β chlorocrotonique oléïque, isocrotonique, citraconique, maléïque sont beaucoup plus solubles que les acides avec lesquels ils forment un couple de stéréoisomères éthyléniques.

Les acides énumérés plus haut sont également les stéréoisomères les plus fusibles de chaque couple d'isomères éthyléniques.

On peut donc dire que le stéréoisomère le plus fusible est dans tous les cas le plus soluble, quelle que soit la configuration du dissolvant. Ceci est la réponse à la première question posée au début de ce travail.

II. — La deuxième question était la suivante : si on a deux stéréoisomères éthyléniques solides C et T et deux dissolvants stéréoisomères éthyléniques D*c* et DT, si la solubilité de C dans D*c* est plus grande que dans D*t*, la solubilité de T est-elle plus grande dans DT que dans D*c* ?

Cette proposition est vérifiée dans les ac. β chlorocrotonique et β chloroisocrotonique comme corps dissous et les couples bichlorures d'acétylène et bromobutène 2, comme dissolvants.

La grande solubilité de l'acide oléïque dans ces dissolvants ne permet pas de répondre dans le cas du couple ac. oléïque, ac. élaïdique pour les dissolvants précédents.

Les expériences faites avec le couple oléïque-élaïdique dans le couple des nitriles crotoniques ne permet pas non plus de répondre à la question. Il faudrait pour pouvoir le faire reprendre les solubilités de l'acide élaïdique à 0° dans les deux nitriles crotoniques stéréoisomères, car on ne peut, en toute sécurité préjuger de la grandeur relative des sol. à 25° à leur grandeur relative à 0°. Il semble cependant que la deuxième proposition soit infirmée dans ce sens.

Aucune réponse ne peut être donnée à cette même question dans le cas du couple acides croto-isocrotonique à cause de la trop grande solubilité du deuxième de ces isomères dans tous les dissolvants employés.

Pour les acides citraconique et mésaconique, la deuxième proposition se vérifie en employant le couple des bichlorures d'acétylène comme dissolvants; elle est infirmée par les expériences sur les nitriles crotoniques.

Pour le couple maléique-fumarique pas de réponse possible dans le cas des bichlorures comme dissolvants à cause de la solubilité trop petite de l'acide fumarique. La deuxième proposition paraît encore être infirmée dans le cas des nitriles crotoniques.

Bref, la seconde question se vérifie dans tous les cas pour les couples bichlorures d'acétylène et bromobutènes 2. quand les isomères solides permettent des mesures complètes. Le couple des nitriles crotoniques paraît se comporter tout autrement.

L'initiative de ce travail appartient à Monsieur le professeur G. Chavanne ; il voudra bien trouver ici l'expression de notre reconnaissance sincère pour ses conseils bienveillants.

SUR LES COUPLES DE MONOCHLORBUTÈNES NORMAUX STÉRÉOISOMÈRES ÉTHYLÉNIQUES

par L. NAVEZ,

Professeur à l'Ecole supérieure des Textiles de Verviers.

L'étude des dichloro (²) et dibromo (³) éthylène symétriques et celle des α chloro (⁴) et α bromo propènes (⁵) ont montré que la stéréomutation des individus chlorés est beaucoup moins aisée que celle des individus bromés correspondants. Il y avait intérêt à voir si ce caractère se révélerait général. C'est dans ce but qu'a été entrepris le présent travail.

Les couples étudiés sont au nombre de deux à savoir: celui des 1. chlorobutènes 1. ($CH_3 - CH_2 - CH = CHCl$) et celui des 2. chlorobutènes 2. ($CH_3 - CH = CCl - CH_3$).

Les couples bromés correspondants ont été étudiés par Lepingle (¹). Cet auteur a séparé les isomères cis et trans de chacun de ceux-ci en utilisant le fractionnement de leurs azéotropes avec l'alcool éthylique

La préparation des éthyléniques chlorés a été faite en employant comme matière première le butanol normal. La déshydratation de celui-ci conduit à un mélange de butènes ; ceux-ci sont transformés par le chlore en dichlorobutanes qu'une distillation fractionnée permet de séparer. Enfin, l'action de la potasse alcoolique sur chacun de ces saturés dichlorés conduit à des monochlorobutènes parmi lesquels se trouvent les constituants des couples à étudier. De nouvelles distillations fractionnées permettent de les obtenir à l'état de pureté.

Le butanol primaire normal du commerce a été rectifié avec une colonne puissante et recueilli dans les limites 116°,5-118°. Sa transformation en butènes a été réalisée soit par déshydratation catalytique sur l'alumine à 410°-420°, ou sur le sulfate d'alumine calciné à 375°-400°, soit par l'acide sulfurique additionné de 5 % de sulfate d'alumine.

L'union avec le chlore, des butènes gazeux ainsi obtenus, a, dans les premiers essais, été réalisée en utilisant le tétrachlorure de carbone comme dissolvant commun. La faible solubilité du chlore dans ce dissolvant à la température de 30° à laquelle la réaction d'addition devient assez rapide nous a conduit bientôt à réaliser cette réaction en phase gazeuse en dirigeant simultanément le chlore et les butènes dans des colonnes remplies de fragments de verre. La température devait y être maintenue entre des limites assez étroites : 30°-45°, pour avoir d'une part une réaction assez rapide et éviter d'autre part l'inflammation du mélange. On n'obtient pas alors plus de 10 % de produits chlorés autres que les dichlorobutanes et ceux-ci sont

formés avec un rendement de 60 % calculé par rapport à l'alcool butylique utilisé. Le produit brut de l'action du chlore est lavé successivement avec une solution de sulfite puis de carbonate de sodium, enfin à l'eau et séché. Il est fractionné sous pression ordinaire avec une colonne Crismer. Ce fractionnement a porté séparément sur les produits chlorés correspondant aux butènes formés sur alumine et ceux formés par déshydratation en milieu acide. (Sulfate d'alumine ou acide sulfurique.) Après trois tours on trouve :

Butènes formés sur Al_2O_3 : 41 % de dichlorobutanes (poids total : 1663 gr.) avant 121° ;

Butènes formés en milieu acide : 90 % de dichlorobutanes (poids total : 351,5 gr.) avant 121°.

Cette constatation faite, sur la signification de laquelle nous reviendrons plus loin, les fractions de distillation correspondantes sont mélangées et le fractionnement est poursuivi. Après le onzième tour la répartition du produit en fonction de la température de distillation est donnée par le tableau ci-dessous :

	t	*p* en gr.	par °	*d*0/4
1re fraction	< 115°	20		
2e »	115° — 115°,5	17	34	
3e »	115°,5— 116°	120	240	1,1332
4e »	116° — 116°,5	65,5	131	1,1334
5e »	116°,5— 117°	33,5	67	
6e »	117° — 117°,5	29	58	
7e »	117°,5— 118°	20	40	
8e »	118° — 118°,5	11,5	23	
9e »	118°,5— 119°	41,5	83	
10e »	119° — 119°,5	101	202	1,1364
11e »	119°,5— 120°	97	194	1,1367
12e »	120° — 120°,5	70	140	
13e »	120°,5— 121°	37	74	
14e »	121° — 121°,5	19	38	
15e »	121°,5— 122°	19,5	39	
16e »	122° — 122°,5	30	60	
17e »	122°,5— 123°	90	180	
18e »	123° — 123°,5	156	312	
19e »	123°,5— 124°	259	518	1,1382
20e »	124° — 124°,5	180	360	1,1385
21e »	124°,5— 125°	48	96	
22e »	125° — 126°	19	19	
23e »	126° — 127°	10,5	10,5	
24e »	127° — 130°	23	7,7	
25e »	>130°	15		
		1531,—		

Il y a donc trois constituants de distillation passant respectivement à 115°,5-116° ; 119°,5 ; 123°,5-124°. La rectification séparée des groupes de fractions 115°,5-116° ; 119°-120°,5 ; 122°,5-124°,5 a fixé les points d'ébullition de ces constituants à

$$115°,9 \pm 0°,2$$
$$119°,5 \pm 0°,2$$
$$124° \pm 0°,2.$$

Ce sont trois isomères $C_4H_8Cl_2$. Le dosage du chlore a donné respectivement pour chacun d'eux 55,8 %, 55,43 %, 55,62 % alors que le pourcentage calculé pour $C_4H_8Cl_2$ est 55,85.

La chaîne d'atomes en carbone est linéaire. Le 1. 2 dichlor 2 méthylpropane correspondant à l'isobutène bout à 107°-108° sous 760 mm. (1).

Ils sont caractérisés par les constantes suivantes :

1. — Eb^{on} 115°,9 $d\frac{0}{4} = 1{,}1333$ $d\frac{15}{4} = 1{,}1147$ $d\frac{25}{4} = 1{,}1025$. Indices à 15° $n\alpha = 1{,}4420$ (3) $n_D = 1{,}4445$ (5) $n\beta = 1{,}4502$ (3) d'où les réfractions moléculaires : $M\alpha = 30{,}15$ $M_D = 30{,}28$ $M\beta = 30{,}63$. Point de fusion : — 80°,4 ± 0°,1 (2).

2. — Eb^{on} 119°,5 $d\frac{0}{4} = 1{,}1366$ $d\frac{15}{4} = 1{,}1183$ $d\frac{25}{4} = 1{,}1051$. Indices à 15° $n\alpha = 1{,}4433$ (3) $n_D = 1{,}4458$ (6) $n\beta = 1{,}4517$ (3) d'où les réfractions moléculaires : $M_\alpha = 30{,}13$ $M_D = 30{,}28$ $M_\beta = 30{,}62$.

3. — Eb^{on} 124° $d\frac{0}{4} = 1{,}1382$ $d\frac{15}{4} = 1{,}1224$ $d\frac{25}{4} = 1{,}1116$. Indices à 15° $n\alpha = 1{,}4450$ (2) $n_D = 1{,}4474$ (6) $n\beta = 1{,}4533$ (2) d'où les réfractions moléculaires : $M_\alpha = 30{,}11$ (5) $M_D = 30{,}26$ $M_\beta = 30{,}60$.

Ces deux derniers isomères ne cristallisent pas, mais donnent des verres à basse température.

Les monochlorobutènes. — Chacun des dichlorobutanes précédents a été traité par la potasse concassée arrosée d'alcool éthylique, l'alcali étant en excès de 25 % par rapport à la quantité théorique nécessaire pour l'arrachement d'une molécule d'HCl. Le mélange a été chauffé à reflux pendant trois jours dans un bain d'huile maintenu vers 120°. Après refroidissement on reprend par un excès d'eau et sépare par décantation le liquide insoluble dans l'eau. On le sèche sur $CaCl_2$, l'additionne d'alcool absolu et effectue un fractionnement grossier qui laisse comme résidu le dichlorobutane non transformé. On soumet celui-ci au même traitement. Finalement on fractionne avec une puissante colonne Crismer les azéotropes que forment les chlorobutènes obtenus avec l'alcool éthylique absolu.

Chlorobutènes obtenus à partir du dichlorobutane de point d'éb^{on} 124°. Après huit tours de fractionnement on obtient la répartition suivante :

	p	par degré
53°	9,9	—
53° — 53°,6	7	11,7
53°,6 — 54°	42	105,0
54° — 55°	11,5	11,5
55° — 56°	6,2	6,2
56° — 57°	7,9	7,9
57° — 57°,8	6,8	8,5
57°,8 — 58°,2	35,1	87,8
58°,2 — 59°	7	9
59° — 60°	3	3
60° — 61°,2	7,5	6,3
61°,2 — 61°,6	34	85
61°,6 — 63°	5	3
63° — 70°	9	1,3

(1) Pogorshelski, C., *Bl*... (1905, I), 668.
Von Meyer et Muller, J., *pr. Ch.*, II, **46**, 186.

(2) Détermination de M. Timmermans.

Il y a trois constituants de distillation bouillant respectivement à 53°,6-54°, 57°,8-58°,2, 61°,2-61°,6 sous 760 mm.

Les densités de ces azéotropes sont respectivement :

Eb^{on} 53°,6 — 54° $d\,\frac{0}{4} = 0{,}9119$ $d\,\frac{15}{4} = 0{,}8945$

Eb^{on} 57°,8 — 58° $d\,\frac{0}{4} = 0{,}9121$ $d\,\frac{15}{4} = 0{,}8946$

Eb^{on} 61°,2 — 61°6 $d\,\frac{0}{4} = 0{,}9081$ $d\,\frac{15}{4} = 0{,}8912$

Chacun de ces azéotropes est agité huit fois de suite, chaque fois avec 3 volumes d'eau pour éliminer l'alcool ; le chlorobutène insoluble est séché par agitation avec $CaCl_2$, distillé, puis ses constantes sont déterminées aussitôt. Toutes ces opérations sont faites à la chambre noire, précaution d'ailleurs superflue comme on verra.

De l'azéotrope Eb. 53°,6-54° on obtient ainsi un monochloro-butène bouillant à 58°,4-58°,6 sous 760 mm., caractérisé par :

$$d\,\frac{0}{4} = 0{,}9288 \qquad d\,\frac{15}{4} = 0{,}9107$$

Indices à 14°1 $n\alpha = 1{,}4138\,(8)$ $n_D = 1{,}4166\,(3)$ $n\beta = 1{,}4235\,(2)$ d'où les réfractions moléculaires : $M\alpha = 24{,}81$ $M_D = 24{,}95$ $M\beta = 25{,}32$ $M\beta - M\alpha = 0{,}51$

De l'azéotrope 57°,8 – 58°,2 on obtient un chlorobutène défini par :

Eb. 63°,4 — 63°,6 ; $d\,\frac{0}{4} = 0{,}9329$ $d\,\frac{15}{4} = 0{,}9153$.

Indices à 15° $n\alpha = 1{,}4168\,(1)$ $n_D = 1{,}4194\,(3)$ $n\beta = 1{,}5265\,(9)$ d'où les réfractions moléculaires : $M\alpha = 24{,}86\,(4)$ $M_D = 25{,}00$ $M\beta = 25{,}38$ $M_\alpha - M_\beta = 0{,}51(6)$.

De l'azéotrope Eb. 61°,2-61°,6 un monochlorobutène dont les constantes sont :

Eb. 68° — 68°,2 $d\,\frac{0}{4} = 0{,}9376$ $d\,\frac{15}{4} = 0{,}9205$.

Indices à 14°,6 $n\alpha = 1{,}4197\,(3)$ $n_D = 1{,}4225\,(4)$ $n\beta = 1{,}4296\,(5)$ d'où les réfractions moléculaires ; $M\alpha = 24{,}87$ $M_D = 25{,}02$ $M\beta = 25{,}38\,(3)$ $M\beta - M\alpha = 0{,}51\,(3)$.

Le dosage de la double liaison dans ces trois éthyléniques chlorés au moyen d'une solution titrée bromure-bromate donne des valeurs concordant à moins de 2 % près avec la valeur théorique pour C_4H_7Cl.

La composition des azéotropes correspondants a été déduite de la courbe des densités des solutions de chacun des chlorobutènes dans l'alcool et de la densité précédemment déterminée pour les azéotropes. On a trouvé ainsi :

Azéotrope	Eb. 53°,6 — 54°	88,5 %	de chlorobutène	correspondant.
»	Eb. 57°,8 — 58°,2	84,2 %	—	—
»	Eb. 61°,2 — 61°,6	79,8 %	—	—

Chlorobutènes obtenus à partir des dichlorobutanes Eb. 115°,9 et Eb. 119°,5. Après trois tours de fractionnement des azéotropes, on constate que l'allure de la distillation est indépendante du dichlorobutane de départ ; dans les deux cas, deux maxima se révèlent aux mêmes températures pour

la masse de distillat recueilli par intervalle de 1°. Les fractions correspondantes sont alors mélangées et cinq nouveaux tours de fractionnement conduisent à la répartition suivante :

t	p en gr.	par degré
<55°	5	
55° — 56°,8	4	2,1
56°,8—57°,2	30	75
57°,2 58°	7	9
58° — 60°	8	4
60° — 60°,4	47	117,5
60°,4—62°	5	3
62° — 77°,5	21	1,3

Il y a donc ici deux constituants azéotropes seulement qui sont définis par :

Eb. 56°,8 — 57°,2 $d \frac{0}{4} = 0{,}9131$ $d \frac{15}{4} = 0{,}8960$

Eb. 60° — 60°,4 $d \frac{0}{4} = 0{,}9139$ $d \frac{15}{4} = 0{,}8964$

Par le même traitement décrit plus haut on retire de l'azéotrope Eb. 56°,8-57°,2 un monochlorobutène dont les constantes sont :

Eb. 62°,4 — 62°,8 ; $d \frac{0}{4} = 0{,}9361$ $d \frac{15}{4} = 0{,}9185$

Indices à 13°,4 $n\alpha = 1{,}4190$ (2) $n_D = 1{,}4217$ (4) $n\beta = 1{,}4289$ (5)

d'où les réfractions moléculaires : $M\alpha = 24{,}84$ (5) $M_D = 24{,}99$ $M\beta = 25{,}35$

$M\beta$ $M\alpha = 0.505$; et de l'azéotrope

Eb. 60° — 60°,4 un monochlorobutène isomère caractérisé par Eb. 66°,6 — 67°

$d \frac{0}{4} = 0{,}9420$ $d \frac{15}{4} = 0{,}9246$

Indices à 13°,4 $n\alpha = 1{,}4225$ (4) $n_D = 1{,}4250$ (6) $n\beta = 1{,}4326$ (1) d'où les réfractions moléculaires : $M\alpha = 24{,}86$ (6) $M_D = 24{,}99$ 5) $M\beta = 25{,}38$ (2) $M\beta - M\alpha = 0{,}516$

La composition des azéotropes correspondant avec l'alcool éthylique est :

Pour l'azéotrope Eb. 56°,8-57°,2 84,6 % de chlorobutène correspondant.
Pour l'azéotrope Eb. 60°-60°,4 81,6 % de chlorobutène correspondant.

La formation de trois chlorobutènes isomères à partir du dichlorobutane Eb. 124°, et de deux seulement, différents des trois précédents, obtenus indifféremment à partir des dichlorobutanes Eb. 115°,9 et 119°,5 impose la conclusion que le dichlorobutane bouillant à 124° est le 1. 2. dichlorobutane racémique : $CH_2Cl - CHCl - CH_2 - CH_3$.

Alors que les deux autres, plus volatils sont les 2. 3. dichlorobutanes stéréoisomères, l'un racémique, l'autre inactif indédoublable :

$$CH_3 - CHCl - CHCl - CH_3.$$

On est tenté de donner la configuration indédoublable au plus volatil des deux qui cristallisent bien à basse température, les racémiques cristallisant en général plus difficilement. Il suit de là que la déshydratation à l'alumine de l'alcool butylique primaire normal donne davantage de butène 1 (59 % de dichlorobutane bouillant au-dessus de 121°) que la déshydratation en milieu acide (10 % de dichlorobutane bouillant au-dessus de 121°).

La déshydratation acide favorise donc beaucoup la migration de la double liaison de 1 en 2 sans que, comme l'a indiqué Gillet [5], l'emploi de l'alumine puisse fournir exclusivement le butène I.

Constitution et configuration des chlorobutènes

2. Chlorobutènes 2. $CH_3-CCl=CH-CH_3$ (Eb. 62°,4-62°,8 et 66°,6-67°). — Des poids égaux des deux isomères sont dissous dans le même volume d'une même solution alcoolique de potasse ; les solutions sont chauffées en tubes scellés côte à côte dans le même bain-marie bouillant, pendant cinq heures, puis après refroidissement le contenu des deux tubes est introduit dans la même quantité d'une solution nitrique diluée exempte d'halogène, l'acide étant en excès par rapport à la potasse et dans une même partie aliquote des deux solutions aqueuses on dose les ions chlore à l'état de chlorure d'argent. On trouve ainsi que l'arrachement de HCl à l'isomère le plus volatil est 2,5 fois plus rapide que dans l'autre (1,82 % et 7,5 % de chlorobutène détruit); d'après la règle de transélimination favorisée de Michael, on doit attribuer la configuration trans :

$$\begin{matrix} CH_3 \\ Cl \end{matrix} \Big\rangle C = C \Big\langle \begin{matrix} H \\ CH_3 \end{matrix}$$ à l'isomère Eb 62°,4 — 62°,8 ;

la configuration cis :

$$\begin{matrix} CH_3 \\ Cl \end{matrix} \Big\rangle C = C \Big\langle \begin{matrix} CH_3 \\ H \end{matrix}$$ à l'isomère Eb 66°,6 — 67°

I. Chlorobutènes 1 et 2. Chlorobutène I. — L'arrachement de HCl au dichlorobutane 1. 2. peut fournir les trois isomères suivants :

1° $CH_2 = CCl - CH_2 - CH_3$

2° $$\begin{matrix} H \\ Cl \end{matrix} \Big\rangle C = C \Big\langle \begin{matrix} H \\ CH_2 - CH_3 \end{matrix}$$

3° $$\begin{matrix} H \\ Cl \end{matrix} \Big\rangle C = C \Big\langle \begin{matrix} CH_2 - CH_3 \\ H \end{matrix}$$

L'étude des chloropropènes [4], des bromopropènes [5], des bromobutènes 1 [1] a montré que des trois isomètres celui de plus bas point d'ébullition avait la constitution d'un dérivé 2. halogéné. Il en est évidemment de même ici et la formule 1° représente l'isomère de point d'ébullition 58°,4-58°,6.

Pour décider de la configuration spatiale des deux autres, nous nous sommes encore basés sur la règle de transélimination favorisée de Michael,

en comparant, dans les conditions expérimentales indiquées plus haut, les vitesses d'arrachement de HCl dans ces deux isomères au moyen de la potasse alcoolique. On trouve ainsi que l'élimination de HCl est 2,9 fois plus rapide chez l'isomère le plus volatil bouillant à 63°,4-63°,6 que chez l'autre (respectivement 8,06 et 2,76 % de chlorobutène transformé en acétylénique). C'est donc la configuration 2°, où les deux hydrogènes sont en cis, qu'il faut attribuer à l'isomère le plus volatil; à l'isomère bouillant à 68°-68°,2 revient la configuration 3°.

Essais de stéréomutation

Les isomères cis et trans de chacun des deux couples éthyléniques ont été exposés au soleil (en janvier) et en présence d'une trace de brome pendant trois périodes de six heures. Pour tous, la variation de la densité n'a pas dépassé les erreurs de mesures possibles. A l'inverse de ce qui a lieu pour les composés bromés correspondants ces individus marquent donc peu de tendance à la stéréomutation. C'est déjà ce qui avait été constaté, à un moindre degré [Mlle Craene [4]] dans son étude sur les I. chloropropènes. On trouve donc dans ce phénomène une différence d'allure singulièrement nette entre le chlore et le brome.

INDICES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) Lépingle, Thèse de doctorat, Bruxelles (1925), *Bull. Soc. Chim. France*, **39**, (1926), 741 et 864.

(2) Chavanne, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **26** (1912), 287.

(3) H. Van de Walle, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **27** (1913), 209.

(4) Mlle Craene, Thèse, Bruxelles (1924).

(5) Chavanne, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **28** (1914), 252.

(6) Gillet, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **29** (1920), 299.

L'ISOMÉRISATION DES ALCOOLS AU COURS DE L'ÉTHÉRIFICATION

par M. H. WUYTS et M[lle] A. LACOURT

(*Communiqué par M[lle] Lacourt.*)

Dans un récent travail ([1]) nous avons réalisé l'éthérification de l'alcool propylique n. en introduisant, de façon continue, de l'alcool, dans une amorce constituée par un mélange d'alcool et d'acide sulfurique de concentration et de température convenables. Au cours de cette étude, nous avons constaté qu'il se forme à côté de l'oxyde de propyle n., une proportion variable d'oxyde mixte de propyle et d'isopropyle. C'est ainsi que pour une concentration en acide voisine de 35 % et une température allant de 111° à 115°, la proportion d'éther mixte dans l'oxyde total est d'environ 2 %. Cette proportion est montée à près de 20 % dans une opération où l'on a cherché à provoquer la formation d'éther mixte en augmentant la concentration de l'amorce et sa température ; celle-ci étant généralement de 132° et ayant été portée au plus haut à 140°.

On assiste donc ici à une isomérisation partielle des radicaux alcooliques qui constituent l'éther oxyde ; isomérisation vraisemblablement liée à la formation d'éthylénique et à la fixation d'une molécule d'alcool sur cet éthylénique en présence de catalyseur.

On peut se figurer cette réaction de différentes façons ; une représentation est la suivante :

$$CH^2 = CH - CH \xrightarrow{(SO^4 H^2)} CH^3 - CH \, . \, OSO^3 H \, . \, CH^3 \xrightarrow{C^3 H^7 O H n.} CH^3 CH \, (O \, . \, CH^2 \, . \, CH^2 \, . \, CH^3) \, CH^3.$$

Quoi qu'il en soit, l'éthylénique paraît intervenir ; et les conditions favorables à la formation d'éthylénique sont aussi favorables à la formation d'oxyde mixte.

La fixation d'alcool sur les éthyléniques n'est pas nouvelle, mais elle n'a, pensons-nous, été observée avec netteté que pour des doubles liaisons intéressant le carbone ne portant pas d'hydrogène. Il en est du moins ainsi dans le cas où le catalyseur (acide sulfonique par exemple), par sa nature ou par sa concentration, ne risque pas de compliquer le phénomène.

On ne s'était jamais douté de la formation d'oxydes isomères au cours de l'éthérification sulfurique des alcools homologues de l'alcool éthylique bien que d'après nos expériences, il n'est plus douteux que l'oxyde de propyle n. préparé avant nous par divers auteurs devait renfermer de l'oxyde mixte.

([1]) *Bull. Soc. chim. Belg.*, **39**, 157 (1930).

La présence de l'oxyde mixte (éb. 80°,2) n'est évidemment pas très facile à déceler dans un oxyde de propyle n. (éb. 90°) qui n'en renferme qu'une faible proportion, surtout si l'on tient compte que la présence d'alcool et d'eau, donne lieu avec les oxydes, à des azéotropes volatils, qui contribuent à masquer sa présence. C'est en éliminant successivement l'eau (par azéotropisme) et l'alcool propylique (par l'acide sulfurique à 50 %) que nous avons obtenu un oxyde qui a pu être analysé par distillation fractionnée sévère, au point de vue de sa teneur en oxyde mixte.

L'isomérisation des radicaux alcooliques se produisant au cours de la préparation d'éthers oxydes en présence d'acide sulfurique, il était intéressant de rechercher si la présence d'acide sulfurique dans une amorce destinée à éthérifier un alcool par un acide organique ne permettrait pas l'isomérisation de cet alcool et l'obtention d'une certaine quantité d'éther-sel dérivé de l'alcool isomérisé.

Nous avons fait une première expérience dans cette voie ; dans des conditions expérimentales assez énergiques, faisant usage d'une amorce concentrée, en opérant à température élevée, sur un mélange équimoléculaire d'acide acétique et d'alcool propylique *n*.

1812 gr. de ce mélange ont été introduits de façon continue dans une amorce constituée de 100 gr. d'acide sulfurique et de 100 gr. d'alcool et maintenue entre 138° et 143°. L'éthérification et la distillation sont très actives. Le produit obtenu a été additionné d'un excès de potasse aqueuse et saponifié au B. M. à reflux. L'odeur de l'acétate de propyle ne disparaît qu'après un temps assez long, et une quantité notable d'éther oxyde se trouve dans les produits de la saponification.

Le traitement du mélange saponifié a été conduit de façon à éliminer autant que possible l'oxyde dont la présence gêne l'analyse du mélange alcoolique. Dans ce but le mélange saponifié a été distillé dans la vapeur d'eau et la vapeur émise sélectionnée au moyen d'une colonne de Young de 8 éléments. On recueille les azéotropes riches en oxydes (éb. 68°,5-82°); lesquels séchés par le carbonate de potassium, sont ensuite traités par l'acide sulfurique à 50 % qui dissout l'alcool et laisse l'oxyde indissous. L'alcool dissous dans l'acide est récupéré par neutralisation prudente, distillation à la vapeur, dessiccation sur carbonate. D'autre part, les fractions suivantes, distillées à la vapeur, sont traitées par le carbonate, et après dessiccation, on en retire les parties les plus volatiles jusque 94°,5.

L'ensemble de ces fractions alcooliques volatiles est alors sélectionné sous forme d'azéotropes ternaires avec le sulfure de carbone et l'eau.

Des expériences préliminaires avaient montré que le mélange ternaire, alcool isopropylique, sulfure, eau, bout vers 42°,3 et qu'il est notablement plus riche en alcool, que le mélange correspondant à base d'alcool propylique n. Ce dernier azéotrope ternaire passe à 43°,15 ; le mélange ternaire à base d'alcool éthylique passe à 41°,3 ([1]).

On a recueilli, après deux tours, la fraction éb. 42°,3-42°,75 (117 cc.).

([1]) *Bull. Soc. chim. Belg.*, **33**, 67 (1924).

Par agitation de cet azéotrope avec l'eau, l'alcool passe en solution aqueuse. On distille et recueille l'azéotrope alcool, eau, (éb. 80°-83°,8) (3,45 gr.) après avoir éliminé une tête de 1,2 gr. Cet azéotrope est alors sélectionné avec de l'acide formique.

Pour mémoire, le formiate d'éthyle donne un azéotrope douteux avec l'eau (éb. 54°,05) [1]; le formiate pur bout à 54°,1; le formiate d'isopropyle comme nous l'avons constaté, donne avec l'eau, un azéotrope, à ébullition voisine de 63°,8 ; le formiate de propyle n. en donne un qui passe vers 72°,6. La distillation de notre produit donne une fraction éb. 62°,4 à 64°,7. Après saponification du formiate et entraînement à la vapeur, on en tire 2 cc., d'azéotrope alcool, eau, (éb. 79°,9 à 80°,4) ; et après traitement au carbonate 1,45 gr. éb. 80° à 82°.

Cette fraction a un point d'ébullition correspondant assez bien à celui de l'alcool isopropylique encore hydraté. On ne peut l'explorer au point de vue d'autres constantes (densité, indice de réfraction, etc.) parce qu'elle n'est pas anhydre.

Nous avons cherché à y caractériser l'alcool isopropylique par la préparation de sa phényluréthane et de son p. nitrobenzoate.

La phényluréthane obtenue après plusieurs cristallisations dans l'éther de pétrole léger et l'alcool dilué accusait le point de fusion de 82°-83°. Une phénylméthane préparée par nous à partir d'alcool isopropylique très pur (éb. 82°,33) fondait à 87° après plusieurs cristallisations. L'épreuve du mélange de ces deux uréthanes a donné 84°. Pour mémoire la littérature donne les pt. fus. suivants pour les phényluréthanes : alcool éthylique, vers 52° ; alcool isopropylique, vers 90° ; alcool propylique n. vers 57°-59°.

Le p. nitrobenzoate obtenu, a été séparé en une partie plus soluble, fusible après deux cristallisations vers 56°-57° ; et une partie moins importante, moins soluble, fusible à 80°. Un nitrobenzoate préparé à partir d'alcool isopropylique pur a fondu, après une cristallisation, de 63° à 65° ; après quatre cristallisations, de 90° à 92°. Les points de fusion du para-nitro benzoate mentionnés dans la littérature [2] sont de 108° à 111°. Le para nitrobenzoate d'éthyle [3] est fusible à 57° ; celui de propyle n. vers 35° [4].

L'alcool propylique employé à ces expériences était un alcool très pur légèrement hydraté ; l'acide acétique ne paraît pas devoir introduire de causes d'erreur. Soumis à un fractionnement sévère, 852 gr. de l'alcool employé ont fourni une tête de 87 gr., laquelle fractionnée à son tour a donné une fraction volatile de 16,5 gr., (éb. 86°-95°). Sélectionné à l'acide formique, cet alcool a donné 1,2 cc., éb. 58°-64°,4 ; 2 cc., éb. 64°,4-68°,2 ; 16 cc., éb. 68°,2. Les deux premières fractions saponifiées, sélectionnées à la vapeur d'eau, puis par le sulfure de carbone, ont permis de recueillir

[1] *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **29**, 55 (1920).
[2] *Ber. d. Chem. Ges.*, **38**, 627.
[3] *Annalen*, **128**, 268.
[4] *Centr. Bl.*, (1909, II), 1025.

après deux tours 12,5 cc. d'azéotrope, éb.<43°,4 ; l'alcool qui en est retiré donne un p. nitrobenzoate fus. vers 50°. Il paraît résulter de ce qui précède, que l'alcool propylique employé contenait une très faible proportion d'alcool éthylique (inférieure à 1 °/$_{oo}$).

La *conclusion* de cette première expérience est que l'isomérisation des radicaux alcooliques, qui ne concourent pas à la formation de l'oxyde est assez probable, mais ne se ferait en tout cas qu'en très faible proportion. Aussi, est-il nécessaire de la confirmer par de nouvelles expériences .

Quant à l'oxyde obtenu au cours de cet essai, sa quantité est notable (72 gr.). Après traitement par le sodium et distillation, sa densité a montré que sa teneur en oxyde mixte atteignait 45 % ; alors que dans nos expériences d'éthérification antérieures, elle n'a pas dépassé une vingtaine de pour-cent.

QUELQUES RECHERCHES SUR LES DÉRIVÉS SULFURÉS ORGANIQUES

par M. Henri WUYTS,

Professeur à l'Université de Bruxelles

Ce Congrès a cherché à donner une image de l'activité de la Chimie belge au cours de ces dernières années ; les dirigeants des laboratoires universitaires ont été invités à y exposer les travaux de leurs laboratoires. Toutefois étant donné le temps accordé pour l'exposé des communications et l'espace prévu pour celles-ci dans les comptes rendus du congrès, nous avons préféré apporter à celui-ci la contribution de quelques travaux de chimie fonctionnelle se rapportant à un domaine déterminé. Certains datent déjà d'assez loin, d'autres sont très récents.

On savait depuis longtemps que le sulfhydrate ammonique à froid et en solution hydroalcoolique, transforme l'acétophénone et la benzophénone en disulfures à radicaux secondaires (1).

$$2\,CH^3\,CO\,C^6H^5 + 3\,H^2S = CH^3\,(C^6H^5)\,CH - S - S - CH\,(C^6H^5)\,CH^3 + S + 2\,H^2O.$$

J'ai repris cette réaction en recherchant quelle serait l'influence de l'introduction de groupements méthylés dans le noyau aromatique de ces cétones sur la nature des produits obtenus. J'ai pu constater (2) que la transformation en disulfures s'observe bien pour l'acétophénone et la benzophénone para méthylées, mais que des anomalies apparaissent en cas de substitution en ortho. Ainsi la 2. 5. diméthylacétophénone est transformée lentement en un trisulfure bien cristallisé ; tandis que l'ortho substitution ralentit tellement la réaction dans le cas de la 2. 5. diméthylbenzophénone qu'après trente jours d'action à la température ordinaire, la cétone a été retrouvée ; toutefois, distillée, elle accuse un verdissement léger et passager, montrant, comme on le verra plus loin, qu'une très faible transformation en sulfure s'était produite.

Les cétones diorthosubstituées — l'acétylmésitylène et le benzoylmésitylène — soumises à froid à l'action du sulfhydrate ammonique, ont complètement résisté à toute transformation après trente jours.

Si, au lieu de faire agir le sulfhydrate ammonique à froid sur les benzophénones, on opère en tubes scellés, à température allant jusqu'à 180°, on obtient des résultats fort différents (2). L'action à la fois sulfurante et réductrice du réactif froid devient alors purement réductrice et les benzo-

(1) *Ber. d. Chem. Ges.*, **11**, 922 ; **28**, 908.
(2) *L'action du sulfhydrate ammonique sur les cétones* ; Bruxelles, 1902.

phénones sont transformées en hydrocarbures (diphénylméthanes) correspondants, sans doute par passage intermédiaire par les disulfures si faciles à former.

La réaction a été appliquée à la benzophénone, la 2. méthylbenzophénone, la 4. méthylbenzophénone, la 2. 5. diméthylbenzophénone; aussi à deux benzophénones possédant d'autres fonctions : la 4. oxybenzophénone et la 4. 4. dinitrobenzophénone. Toutes ces cétones ont été réduites et nous avons obtenu avec de très bons rendements, le diphénylméthane, les diphénylméthanes méthylés en 2., en 4. et en 2. 5.; de même que le p. benzylphénol et le 4.4′ diaminodiphénylméthane. Ajoutons que nous avons appliqué la même méthode de réduction à la diphénylènecétone et à la phénylthiénylcétone qui donnent respectivement du diphénylèneméthane et du phénylthiénylméthane. Quant à deux benzophénones diortho substituées, les 2. 4. 6. triméthylbenzophénone (benzoylmésitylène) et 2. 3. 4. 5. 6. éthylbenzophénone ; elles ont résisté au sulfhydrate ammonique à 180°.

Il y a donc là une méthode permettant de préparer facilement des diphénylméthanes qui ne sont pas diortho substitués, qui présente l'avantage sur la méthode classique par chauffage avec l'acide iodhydrique, de ne pas donner lieu comme celle-ci à la formation de produits de scission de la molécule cétonique [1].

Nous dirons quelques mots sur la façon dont se comporte l'acétophénone chauffée avec le sulfhydrate ammonique. WILLGERODT [2] avait constaté qu'une solution aqueuse de ce réactif chauffé à 230° avec un excès de soufre et de l'acétophénone, transforme celle-ci en phénylacétamide. Cette réaction complexe implique d'après cet auteur un déplacement de l'oxygène et une action déshydrogénante telle que :

$$C^6H^5COCH^3 \longrightarrow C^6H^5CH^2CHO \xrightarrow{(S+NH^3)} C^6H^5CH^2CONH^2 + H^2S$$

Nous avons réalisé la même réaction à température plus basse (165°) au moyen de sulfhydrate incolore ; la phénylacétamide formée était accompagnée de produits huileux et l'hydrogène sulfuré avait en grande partie disparu. Il n'est pas douteux que l'acétophénone donne du disulfure avant de subir les transformations qui mènent à la phénylacétamide ; cette dernière réaction doit avoir pour corollaire une réaction qui fixe de l'hydrogène. Le produit huileux, d'où il a paru difficile de retirer une substance pure, contient vraisemblablement des produits de réduction.

Revenant aux sulfures à radicaux secondaires obtenus des acétophénones et des benzophénones, il convient de faire remarquer la décomposition caractéristique que subissent ces disulfures soumis à l'action de la chaleur.

Le disulfure de l'acétophénone se décompose en donnant une coloration bleue fugitive, due à la formation passagère de thioacétophénone, mais

(1) Voir notamment *Ber. d. Chem. Ges.*, **32**, 1549 (1908).
(2) *Ber. d. Chem. Ges.*, **20**, 2667 ; **21**, 534.

les produits principaux que fournit cette distillation sont le phényléthylène, (et l'éthylbenzène), l'hydrogène sulfuré et le soufre [1].

$$2\ C^6H^5\ (CH^3)\ CH\ .\ S\ .\ S\ .\ CH\ (CH^3)\ C^6H^5 = 2\ C^6H^5\ .\ CH = CH^2 + H^2S + S.$$

Appliquant cette réaction au disulfure de la benzophénone j'ai constaté avec M. Jacobsen que la décomposition se fait principalement en diphénylméthane et thiobenzophénone. Il se forme en même temps du tétraphényl éthylène.

$$2\ (C^6H^5)^2\ CH\ .\ S\ .\ S\ .\ CH\ (C^6H^5)^2 = (C^6H^5)^2\ CH^2 + (C^6H^5)^2\ CS.$$

Un dérivé sulfuré du camphre anciennement connu et obtenu par l'action du sulfhydrate ammonique sur cette cétone avait été décrit par Schlebusch comme étant du thiocamphre [2].

J'ai repris cette étude [3] en améliorant la préparation de cette substance, laquelle après une première purification n'a rien des propriétés d'une thiocétone. Bien cristallisée, blanche et stable, elle n'accuse pas de point de fusion constant. Sa composition centésimale et son poids moléculaire cryoscopique conduisent à la considérer comme étant un mélange sensiblement équimoléculaire de disulfure et de trisulfure de bornyle, dont la séparation par cristallisation n'a pu être effectuée, malgré de nombreuses tentatives. Le sulfhydrate ammonique agit donc sur le camphre comme sur les acétophénones et benzophénones.

Il y a un rapprochement à faire entre l'obtention d'un trisulfure à partir de la 2. 5. diméthylacétophénone et d'un mélange équimoléculaire de di et trisulfure à partir du camphre. Ces deux cétones, en effet, sont substituées par un groupement méthyle en position ortho de la fonction cétonique. Les sulfures de bornyle obtenus du camphre sont aussi des sulfures à radicaux secondaires. Comme les dérivés correspondants de l'acétophénone et de la benzophénone, il se décomposent de façon caractéristique par la chaleur en donnant du thiocamphre, du thiobornéol et du soufre.

$$C^9H^1{}_6 > CHS\ .\ SCH < C^9H^{16} = C^9H^{16} > CS + C^9H^{16} > CHSH.$$

Le mélange de thiocamphre et de thiobornéol distille, il peut être séparé par une solution hydroalcoolique d'acétate de plomb, laquelle précipite en jaune le sel de plomb du thiobornéol ; le thiocamphre resté en solution est ensuite précipité par l'eau et purifié par distillation dans le vide. Quant au thiobornéol, il est purifié de même après avoir été libéré de son sel de plomb par l'acide acétique.

Le thiocamphre accuse les constantes suivantes : fus: 118°; éb. 15 mm.: 104° ; $(\alpha)^D_{15}$: — 41°,42 (en solution à 3,64 % dans l'éther acétique). Le thiocamphre est la thiocétone la plus stable ; il peut être conservé pendant des années à l'abri de l'air. Sa couleur d'un beau rouge permet une comparai-

(1) *Ber d. Chem. Ges.*, **28**, 908.
(2) *Ibid.*, **3**, 551.
(3) *Ibid.*, **36**, 863.

son intéressante entre l'action du groupement chromophore CS dans le double anneau cyclanique du camphre et celle qu'il exerce dans les thiocétones aromatiques (thiobenzophénone, tioacétophénone), qui accusent une coloration bleue foncée.

Le thiocamphre a été soumis à quelques transformations fonctionnelles. Son activité sur certains réactifs de cétones est plus grande que celle des cétones oxygénées. C'est ainsi qu'il réagit directement avec le chlorhydrate d'hydroxylamine en solution alcoolique, ce que ne font pas les cétones mais seulement les ortho dicétones.

Outre sa transformation en campheroxime et camphre phénylhydrazone, le thiocamphre a été transformé en thiobornéol par réduction au moyen du zinc et de l'acide chlorhydrique. Ce dernier mode opératoire permet aussi la réduction directe des di et trisulfures de bornyle en thiobornéol.

De même que le thiocamphre, le thiobornéol était inconnu. Il accuse les constantes suivantes: fus.: 62°-63°; éb. 15 mm.: 98°; éb. 760 mm.: 224°-225°; $(\alpha_{15}^{D} + 21°,5$. Ce thiol est insoluble dans les alcalis. Les vapeurs nitriques le colorent en rouge groseille. Son mercaptide mercurique fond vers 146°-147°.

Il est à remarquer que le camphre dextrogyre donne un mélange de sulfures également dextrogyre; le thiocamphre issu de ces sulfures est lévogyre; tandis que le thiobornéol est dextrogyre. Comme la réduction du camphre droit donne un mélange de bornéol droit et d'isobornéol gauche, on pourrait se demander si le thiobornéol obtenu des sulfures n'est pas un mélange de thiobornéol et d'isothiobornéol. Sa stabilité donne à penser qu'il ne contient pas d'isothiobornéol.

On voit que la constitution doublement annulaire des dérivés camphrés permet la synthèse de thiocétone et de thiol au cours de la décomposition du disulfure (ce que l'on n'observe pas pour l'acétophénone ni la benzophénone). Cette constitution a d'autre part sa répercussion sur les propriétés du thiocamphre et du thiobornéol qui sont relativement stables.

A ma demande M. Stewart (¹) a cherché à obtenir des dérivés séléniés du camphre par l'action du sélénhydrate ammonique sur cette cétone. L'hydrogène sélénié nécessaire a été obtenu par chauffage, dans un ballon de quartz, de sélénium avec de la paraffine, ce qui fournit commodément un gaz suffisamment pur pour cet usage. Le sélénhydrate ammonique en solution alcoolique a été chauffé avec du camphre jusque 125°. Le produit obtenu est essentiellement du diséléniure de bornyle. Sa décomposition par distillation faite dans l'espoir d'obtenir, par analogie avec le produit sulfuré, du sélénocamphre et du sélénobornéol, ne s'accomplit pas de cette façon. Elle donne du monoséléniure et du sélénium, rappelant ainsi la décomposition du disulfure et du diséléniure de phényle. Il se fait en même temps une autre décomposition moins importante en camphane, camphène et sélénium.

*
* *

(¹) Dissertation, Bruxelles (1908).

Deux ou trois ans après la découverte des organomagnésiens par Grignard, j'ai, en collaboration avec M. Cosyns, soumis ces réactifs à l'action du soufre et constaté leur transformation en complexes sulfurés, que l'eau décompose en thiols ; on constate aussi la formation de disulfures et de monosulfures organiques (1).

En série grasse nous avons ainsi préparé du mercaptan éthylique et son disulfure, mais étant donné l'intérêt moindre de cette réaction dans cette série où la préparation de mercaptans est aisée par d'autres méthodes, nous nous sommes attachés surtout à son application en série aromatique. Dans les premières réactions faites à partir de bromure de magnésiumphényle et en présence d'un excès de soufre, nous avons obtenu à côté de thiophénol, beaucoup de disulfure de phényle et un peu de monosulfure. Nous avons préconisé à ce moment la préparation du thiophénol par l'action du soufre sur le bromure de magnésiumphényle, suivie de la décomposition par l'eau et de la réduction par le zinc et l'acide chlorhydrique.

A la même époque et peu après nous, Taboury a publié une étude dans laquelle il signale la préparation à partir de soufre et de sélénium et de magnésiens, d'un certain nombre de thiols et de sélénols (2).

Plus tard (3), j'ai repris l'étude de cette question en me plaçant plus spécialement au point de vue du mécanisme de ces réactions. Des expériences ont été faites avec le soufre et le sélénium en opérant avec beaucoup de soin, dans une atmosphère d'hydrogène.

Dans les deux cas, j'ai pu montrer qu'en opérant à froid avec une quantité de soufre ou de sélénium n'atteignant que les 8/10 de la quantité théorique, de façon à maintenir le milieu réducteur, on obtient du thiophénol ou du sélénophénol avec un rendement d'environ 80 % de la théorie.

La décomposition par l'eau acidulée des complexes sulfurés ou séléniés, ne dégage qu'une quantité insignifiante d'hydrogène sulfuré ou sélénié. Les thio et sélénophénols sont obtenus très purs et apparaissent ainsi nettement comme produits primaires de la réaction et le mode opératoire suivi constitue leur meilleure préparation s'il s'agit de quantités pas trop importantes (4).

$$C^6H^5MgBr \longrightarrow C^6H^5.S.MgBr \longrightarrow C^6H^5SH.$$

J'ai étudié ensuite l'action du soufre sur le complexe du thiol, en préparant ce dernier, non pas directement à partir du soufre et du magnésien, mais bien en introduisant du thiophénol dans un magnésien préparé au préalable.

$$C^6H^5SH + C^6H^5MgBr = C^6H^5SMgBr + C^6H^6.$$

Ce complexe se sépare sous forme de précipité volumineux au sein de la solution éthérée. Ce mélange a été chauffé à reflux, dans l'hydrogène, avec

(1) *Bull. Soc. chim. Paris*, III, **29**, 689.
(2) *Ibid.*, III, **29**, 716 et 761.
(3) *Bull Soc. Chim. France*, IV, **5**, 405.
(4) La préparation en grand du thiophénol se fait le mieux par la réduction du chlorure de benzènesulfonyle.

la quantité calculée de soufre. La décomposition par l'eau donne un peu d'hydrogène sulfuré, l'addition d'acide en donne beaucoup ; il n'y a que peu de soufre rémanent. L'examen du produit obtenu montre que les 2/3 du thiophénol ont été transformés en disulfure ; le reste a été retrouvé inaltéré.

On peut d'ailleurs aussi, comme nous l'avons constaté, transformer le thiol en disulfure par chauffage avec du soufre, (de même le sélénium donne du diséléniure avec le sélénophénol) mais ici nous nous éloignons des conditions expérimentales que nous cherchons à interpréter.

Le disulfure de phényle doit donc être considéré comme formé par l'action secondaire du soufre sur le thiol :

$$2\, C^6 H^5 S Mg Br + S = C^6 H^5 . S . S . C^6 H^5 + S (Mg Br)^2.$$

Quant à la formation de monosulfure, généralement très peu importante (mais celle de monoséléniure peut l'être bien davantage) on peut l'expliquer par une réaction que nous avions observée déjà antérieurement et qui résulte de l'action des magnésiens sur les disulfures. Nous avons constaté en effet [1] que les disulfures (et les diséléniures) sont scindés par le réactif de Grignard, selon l'équation :

$$R . S - S . R + R' Mg X = R . S . R' + R S Mg X.$$

Après l'action de l'eau acidulée, on sépare facilement le sulfure du thiol, ce dernier étant extrait par un alcali. Cette méthode nous a permis de préparer quelques sulfures mixtes et aussi quelques séléniures à radicaux différents.

Cette réaction explique la formation de monosulfures (ou de séléniures) dans l'action des deux métalloïdes sur les magnésiens. C'est ainsi que l'addition de soufre transforme d'abord la majeure partie de l'organo-magnésien en complexe du thiol ($R - S\, Mg\, X$) ; si on ajoute plus de métalloïde il arrive un moment où les conditions deviennent favorables à la formation de disulfure sans doute par suite de la présence localisée d'un excès de soufre ; mais du disulfure peut réagir aussi sur le magnésien là où ce dernier n'a pas disparu et donner du monosulfure.

Les mercaptides de l'étain n'avaient été qu'entrevus. On ne connaissait assez mal que le thiophénate stannique $(C^6 H^5 S)^4 Sn$. Au cours d'essais de réduction d'un disulfure renfermant aussi des radicaux basiques

$$(C H^3)^2 N C^6 H^4 . S . S . C^6 H^4 N (C H^3)^2,$$

j'ai constaté avec M. Van Gindertalen [2], que ce disulfure chauffé modérément avec de l'étain finement granulé et de l'acide chlorhydrique entrait en solution vers 65°-70° sans dégagement sensible d'hydrogène ; la neutralisation par la soude précipite du mercaptide, lequel purifié par le chloro-

(1) *Bull. Soc. chim. Paris.*, III, **35**, 166.
(2) *Bull. Soc. chim. Belg.*, **30**, 323.

forme apparaît en cristaux rouges foliacés. L'acide intervient comme catalyseur dans cette réaction que l'on peut formuler :

$$2\,R - S\,.\,S - R + Sn = (RS)^4\,Sn.$$

La transformation a été réalisée aussi pour un second disulfure basique (soluble dans l'acide) mais elle a pu être appliquée aux disulfures non basiques insolubles dans l'acide, après addition d'un peu d'alcool. On a obtenu exclusivement des mercaptides stanniques, bien que les proportions des corps en présence et les conditions expérimentales choisies paraissent des plus favorables à la formation de dérivés stanneux.

Nous avons aussi préparé des mercaptides en neutralisant un mélange de thiol et de solution chlorhydrique de chlorure stanneux par la soude. Ici l'intervention de l'oxygène atmosphérique est nécessaire ; elle a été constatée.

$$4\,RSH + SnCl^2 + O = Sn\,(SR)^4 + 2\,HCl + H^2O.$$

On peut d'ailleurs arriver au même résultat par mélange de solutions alcooliques de chlorure stanneux et de thiol. A l'air ces mélanges précipitent rapidement du mercaptide, tandis que dans le vide on n'observe qu'un trouble insignifiant.

Enfin nous avons vérifié que le chlorure stannique hydraté donne aussi les mercaptides en solution alcoolique avec les thiols.

Les acides disulfurés de type RCSSH, sont devenus d'obtention assez facile depuis qu'on les prépare par l'action du sulfure de carbone sur les magnésiens ([1]). Ces substances renferment à la fois les groupes chromophore CS et auxochrome SH. Ce sont généralement des huiles rouges ; leur couleur s'intensifie par élévation de température ; celle des acides aromatiques est plus intense que celle des acides gras. Nous avons obtenu l'acide dithio p. toluique en cristaux d'un rouge violet foncé, fusible vers 40°.

La réactivité de ces acides est très grande ; ils sont très oxydables. Par conservation de quelques semaines à l'abri de l'air, certains échantillons d'acides huileux ont pris un aspect résineux ; comme ils ont néanmoins donné, mais assez lentement, les réactions que nous allons décrire, il est possible qu'il s'agisse là d'un commencement de polymérisation de ces acides.

En chauffant de l'acide dithiobenzoïque avec de la phénylhydrazine, nous avons constaté ([2]) qu'une réaction se déclare, qui a pour effet d'éliminer complètement le soufre contenu dans l'acide et conduit à l'obtention de la benzylidènephénylhydrazone.

$$C^6H^5CSSH + NH^2\,.\,NHC^6H^5 = C^6H^5CH : N\,.\,NHC^6H^5 + H^2S + S.$$

Nous avons cherché à généraliser cette réaction en l'étendant à d'autres

([1]) Houben et collaborateurs, *Ber. d. Chem. Ges.*, **39**, 3234 ; **40**, 1304.
([2]) *Bull. Soc. chim. Belg.*, **38**, 197.

dithioacides. Nous avons tout d'abord constaté que lorsque ces acides sont ajoutés à la phénylhydrazine, en solution dans l'éther et à la température de − 10° à − 15°, ils donnent généralement lieu à la précipitation d'un sel de phénylhydrazine d'un beau jaune. Certains de ces sels ont pu être obtenus et analysés. Ceux de l'acide dithiobenzoïque et dithio p. toluique n'ont pu être obtenus à l'état de pureté. Lorsqu'on laisse s'élever la température de ces sels, préparés au sein de l'éther (généralement en présence d'un petit excès de phénylhydrazine) ils commencent bientôt à se décomposer avec dégagement d'hydrogène sulfuré et la décomposition est achevée par chauffage progressif, ce qui amène la distillation de la majeure partie de l'éther qui se trouve en présence.

En appliquant cette réaction à quelques acides aromatiques (acides dithiobenzoïque, dithio ortho toluïque, dithio para toluique et dithio α naphtoique) et à des acides non aromatiques (acides dithioacétique, dithiophénylacétique et dithiocyclohexanoïque), nous avons constaté ce fait assez remarquable que les acides non aromatiques donnent lieu avec la phénylhydrazine à une réaction d'acylation normale (analogue mais beaucoup plus aisée que celle que donnerait un acide oxygéné) avec formation de thiohydrazide [1]

$$R.CSSH + H^2N.NHC^6H^5 = RCSNH.NHC^6H^5 + H^2S$$

tandis que l'acide dithiobenzoïque, acide purement aromatique, ne donne pas de dérivé sulfuré mais bien, comme nous l'avons vu, l'hydrazone de la benzaldéhyde.

Les autres acides aromatiques essayés donnent aussi des hydrazones mais parmi eux, ceux qui possèdent des groupes méthyles fixés sur le noyau aromatique, fournissent à côté d'hydrazone, une certaine quantité de thiohydrazide.

Ils manifestent ainsi le double caractère aromatique et aliphatique, et, fait intéressant, alors que l'acide dithio p. toluique ne fournit presque pas de thiohydrazide, l'acide dithio ortho toluique dans lequel le groupement méthyle est voisin d'un groupement sulfuré, en fournit presque autant que d'hydrazone. D'autres facteurs paraissent toutefois intervenir puisque l'acide dithio α naphtoïque, qui est transformé en hydrazone donne aussi un peu de thiohydrazide. Il a de commun avec l'acide dithio ortho toluique de pouvoir être considéré comme possédant un noyau benzénique susbstitué en ortho de sa fonction acide.

On peut conclure de ces faits, que c'est la nature du noyau hydrocarboné porteur du groupement acide qui oriente la réaction. On se trouve ici en présence de deux types de transformation, la réaction d'acylation, qui doit être considérée comme normale pour un acide ; et une autre réaction, la formation d'hydrazone, que l'on peut qualifier d'aldéhydique, parce qu'elle conduit à des produits obtenus habituellement à partir de l'aldéhyde correspondante.

[1] Les thiophénylhydrazides étaient inconnus, mais la thiohydrazide (non phénylée) de l'acide carbonique avait été préparée.

Il était intéressant de soumettre différents dithioacides à l'action de réactifs ayant comme la phénylhydrazine, le caractère de réactif aldéhydique.

C'est ainsi que nous avons recherché quelle était l'action de la méthylphénylhydrazine, de la semicarbazide et de l'hydroxylamine sur les dithioacides.

Nous avons constaté que sous l'action de ces réactifs, les acides dont le groupement CSSH est porté directement par un noyau aromatique, donnent des réactions aldéhydiques.

On obtient en effet des méthylphénilhydrazones [1], des semicarbazones et des oximes en même temps que du soufre et de l'hydrogène sulfuré :

$$RCSSH + H^2NNHCONH^2 = RCH : N . NHCONH^2 + S + H^2S$$

$$RCSSH + H^2NOH = RCH : NOH + S + H^2S.$$

Tandis que les acides, dont le groupement CSSH est porté par un noyau acyclique saturé, arylique ou cyclanique, donnent des méthylphénylhydrazides et semicarbazides d'acides sulfurés, substances solubles dans les alcalis et résultant d'une réaction normale d'acylation, avec départ d'hydrogène sulfuré :

$$R . CSSH + H^2N . NHCONH^2 = RCSNHNHCONH^2 + H^2S.$$

Si l'hydroxylamine donnait lieu à une réaction d'acylation analogue, cela conduirait à transformer les acides disulfurés en acides thiohydroxamiques:

$$R . CSSH + H^2NOH = RCSNHOH \left(RC(SH) : NOH\right) + H^2S.$$

Dans nos expériences, nous faisons agir le chlorhydrate d'hydroxylamine (ou le chlorhydrate de semicarbazide) sur les dithioacides dissous dans un excès de pyridine en élevant graduellement la température pour achever la réaction. Il n'est pas étonnant que l'hydroxylamine, réactif minéral, à petite molécule, puisse dans ces conditions donner lieu à une réaction plus profonde, allant jusqu'à la désulfuration. En effet, l'action de ce réactif sur deux dithioacides étudiés jusqu'ici (acide dithiophénylacétique et dithiocyclohexanoïque) donne comme produits principaux des nitriles en même temps qu'un peu d'oximes (et un peu de phénylacétamide pour le premier de ces acides)

$$RCSSH + H^2NOH = RCN + H^2O + S + H^2S.$$

L'hydroxylamine mise à part, il y a analogie complète entre le comportement de ces différents réactifs avec les dithioacides ; les uns et les autres se comportant différemment suivant le caractère aromatique ou non aromatique de ces acides. Mais la phénylhydrazine se révèle comme le réactif le plus sensible puisque son action est influencée par les radicaux méthyles qui substituent le noyau aromatique des acides. Ces phénomènes mettent en évidence avec une netteté et des nuances rarement observées jusqu'ici, l'in-

[1] L'étude de l'action de la méthylphénylhydrazine a été faite avec M. Goldstein.

fluence de la nature des noyaux hydrocarbonés sur les réactions d'un chaînon fonctionnel porté par ces noyaux.

La transformation aisée des dithioacides en semicarbazones permet une nouvelle méthode générale de synthèse d'aldéhydes aromatiques, à partir de dérivés halogénés renfermant un atome de carbone de moins :

$$R\,X \longrightarrow R\,Mg\,X \longrightarrow R\,C\,SSH \longrightarrow R\,CH : N\,.\,NH\,CO\,.\,NH^2 \longrightarrow R\,CH : O$$

puisque les semicarbazones sont facilement hydrolysables par des acides tels que l'acide chlorhydrique. D'autre part, l'obtention, avec de bons rendements de nitriles à partir des acides disulfurés dont la fonction est fixée sur un chaînon non aromatique, permet la préparation de nitriles à partir de dérivés halogénés, réaction ayant une signification particulière dans le cas où les dérivés halogénés ne peuvent être opposés directement aux cyanures alcalins.

Il nous reste à signaler une dernière réaction inédite des dithioacides que nous n'avons réalisée jusqu'ici qu'avec l'acide dithiobenzoïque. Si cet acide est soumis à l'action réductrice du zinc ou du magnésium divisé et de l'acide chlorhydrique dilué, en présence d'une certain quantité d'alcool et en laissant la température s'élever quelque peu, on obtient une masse réactionnelle renfermant des produits de réduction encore sulfurés, mais renfermant aussi du toluème que nous avons pu en extraire sous forme d'azéotrope avec l'alcool, d'où il a été précipité par l'eau ; il a été purifié par lavage au moyen d'une solution de chlorure mercurique, dessiccation et distillation sur sodium (éb. 110°). On peut ainsi réaliser la réduction intégrale du groupement des dithioacides :

$$C^6\,H^5\,C\,S\,S\,H \longrightarrow C^6\,H^5\,C\,H^3$$

ce qui constitue une nouvelle méthode de synthèse d'hydrocarbures pouvant présenter de l'intérêt dans certains cas.

L'ISOMÉRIE ÉTHYLÉNIQUE DANS LA SÉRIE DES NITRILES ET DES AMIDES ALIPHATIQUES

par P. BRUYLANTS,

Professeur à l'Université de Louvain.

Une part importante de l'activité du laboratoire de chimie générale de l'Université de Louvain a été consacrée dans ces dernières années à l'étude de l'isomérie éthylénique des nitriles non saturés et plus récemment des amides de la même série.

Alors que la séparation des isomères acides est assez délicate, celle des isomères nitriliques se réalise le plus souvent assez facilement par distillation fractionnée ; les différences de stabilité des deux variétés sont moins accusées que dans le cas des acides et nous n'avons que rarement constaté jusqu'à présent d'isomérisation mutuelle — d'isomères géométriques α β s'entend — se réalisant par le seul fait de la distillation, alors que parmi les nitriles étudiés certains présentent des températures d'ébullition de 180 à 200° sous la pression atmosphérique.

Il est curieux de constater que ces nitriles oléfiniques en α β, dont quelques-uns sont décrits depuis longtemps n'aient, avant nos travaux, été obtenus qu'à l'état de mélange des deux variétés. Le cas est très typique pour le nitrile crotonique, obtenu par tant de procédés différents et par plusieurs expérimentateurs ; les températures d'ébullition trouvées dans la littérature sont fort différentes et correspondent à des mélanges en proportions variables d'isomères. J'ajoute que sans avoir à sa disposition une quantité suffisante de matière, il est impossible de scinder le mélange en ses constituants.

Les recherches dans ce domaine ont débuté par la préparation à l'état pur du nitrile vinylacétique et l'élaboration d'une méthode pratique et peu coûteuse de ce corps. Celui-ci sous l'influence de nombreux réactifs s'isomérise en dérivé non saturé α β et fournit ainsi un mélange, en proportions variables suivant les conditions, des deux isomères crotoniques cis et trans.

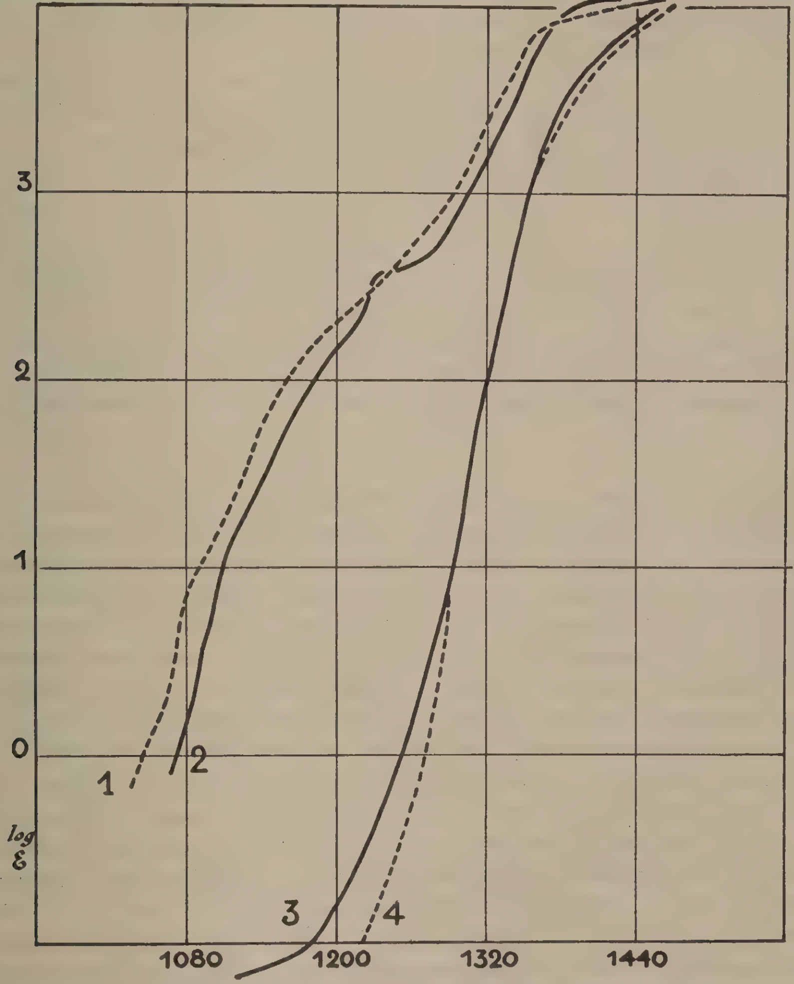
Lorsque cette étude en était à ses débuts, il nous paraissait impossible d'établir la structure stérique des isomères en les rattachant, par voie chimique, aux acides correspondants. En effet, sous l'influence des agents d'hydrolyse utilisés alors ils fournissaient tous deux l'acide crotonique beaucoup plus stable que l'isomère isocrotonique.

Nous en étions réduits à ce moment à nous baser sur des analogies dans les propriétés physiques.

Or, voici un tableau comparatif de quelques propriétés des isomères géométriques des nitriles et des acides.

	$CH_3 - CH = CH - CN$		$CH_3 - CH = CH - COOH$	
Temp. d'ébullition	108°	121°	169°	189
E Σ α	0,77	0,98	0,69	0,85 (1)
Chaleur de combustion moléculaire à pression constante	571,9 Cal.	573,8 Cal.	486 Cal. (2)	480,1 Cal. (3)

et on trouvera dans le tableau suivant les courbes d'absorption ultraviolettes tracées d'après la méthode de V. Henri (fréquence en abscisses,



(1) D'après AUWERS, *Ann.*, **432**, 94, en effectuant la correction pour ramener ses déterminations faites à 80° environ, à la température ordinaire.

(2) Estimations de ROTH et OSTLING, *Ber.*, **16**, 309.

(3) Déterminations de STOHMANN et KLEBER, *Phys. Chem.*, **10**, 412, et passage à l'état liquide en se basant sur la chaleur de fusion déterminée par BURNER, *Ber.*, **27**, 2102.

log du coefficient d'absorption moléculaire en ordonnées) des deux nitriles et des deux acides.

Que fallait-il conclure de ces résultats contradictoires ?

Sans doute, si le problème avait été posé à mon Maître L. Henry qui a établi de si nombreuses et de si rigoureuses relations de volatilité des composés organiques, eût-il donné la préférence aux indications de température d'ébullition et eût-il rattaché le nitrile 108° à l'acide isocrotonique et le nitrile 121° à l'acide crotonique.

De même, arriverait-on à une conclusion identique en comparant les exaltations spécifiques déduites des réfractions moléculaires. Cependant Auwers qui a bien étudié le cas des acides et des esthers non saturés en α β dit expressément que les différences observées pour les isomères sont toujours fort minimes quoique dépassant les erreurs expérimentales et il conclut qu'il est dangereux de se baser sur ce critère pour établir la structure stérique (4).

Si on compare l'énergie interne de ces corps, on arrive à une conclusion opposée de celle qu'on déduit des critères précédents, bien que de nouveau ici les différences soient minimes, et il en est de même si l'on observe les courbes d'absorption ultraviolettes ; l'allure est très analogue pour le nitrile 108° et l'acide crotonique d'une part, pour le nitrile 121° et l'acide isocrotonique d'autre part. C'est à ces considérations que nous avions d'abord donné la préférence ; nous nous étions cependant trompés comme le montrèrent des recherches nouvelles sur la préparation des amides.

Les amides éthyléniques en α β ou en β γ et vraisemblablement les autres aussi, peuvent s'obtenir aisément aux dépens des nitriles par un procédé très simple qui, lorsqu'on prend la précaution d'opérer sans échauffement, ne provoque guère d'isomérisation. Il consiste dans l'action d'une quantité équimoléculaire d'acide sulfurique à 66° sur le nitrile. Ce procédé est d'une application assez générale et peut être utilisé aussi avec bon nombre de nitriles substitués et en particulier des cyanhydrines α et β. La réaction est terminée lorsque la masse est devenue solide, vitreuse ou cristalline. Suivant la nature du nitrile la réaction à la température ordinaire est très rapide voire même instantanée, c'est le cas des α cyanhydriques, ou bien elle est lente et dure quelques jours ou même deux à trois mois. Ainsi on fait la constatation que chaque fois que l'on a isolé les deux formes géométriques des nitriles non saturés en α β la réaction de l'acide sulfurique est beaucoup plus lente avec la variété inférieure, la plus volatile, qu'avec la variété supérieure. Nous ne conseillons jamais la chauffe pour accélérer la réaction dans le cas où des migrations sont possibles car elles ont été constatées plusieurs fois.

Quant au mécanisme de cette réaction, nous estimons qu'elle consiste dans la fixation d'une molécule d'acide sulfurique sur le chaînon CN., à la

(4) *Ann.*, **432**, 95.

façon dont se fixent les hydracides halogénés, pour donner des dérivés imidés du type

$$—C\begin{matrix}/\!\!/ NH \\ \diagdown O\ SO_2OH\end{matrix}$$

En effet, on a obtenu récemment (¹) des sels potassiques ou sodiques de ces corps répondant à la formule $RCN \, . \, HSO_4Me$ qui cristallisent très bien en milieu neutre, ne donnent plus les réactions de l'ion SO''_4 et fournissent l'amide par ébullition de la solution aqueuse en présence d'une trace d'acide et plus rapidement en présence d'un sel barytique soluble

$$—C\begin{matrix}/\!\!/ NH \\ \diagdown O\ SO_2OH\end{matrix} \quad \xrightarrow[H_2O]{} \quad —C\begin{matrix}/\!\!/ NH \\ \diagdown OH\end{matrix} \quad —C\begin{matrix}/ NH_2 \\ \diagdown\!\!\diagdown O\end{matrix}$$

En appliquant la réaction de l'acide sulfurique sur les deux nitriles crotoniques, on obtient les deux amides, crotonique et isocrotonique, cette dernière préparée par Stoermer dans l'action des rayons U.V. sur l'amide crotonique.

Or, le nitrile éb. 108° fournit ainsi l'amide isocrotonique, le nitrile 121° l'amide crotonique. La conclusion de structure tirée des données thermochimiques et des données spectrales est donc erronée — et on remarque donc très nettement ici que c'est à la nature des groupements fonctionnels liés à la soudure oléfinique, tout autant qu'à leur distribution stérique ou même davantage, qu'il y a lieu de rattacher les différences dans les propriétés physiques d'isomères géométriques.

Plusieurs autres couples de nitriles éthyléniques en $\alpha\beta$ ont été obtenus ou sont encore à l'étude dans mon laboratoire ; les relations de structure semblent les plus nettes avec les termes à chaîne rectiligne. Si nous connaissons déjà les nitriles et les amides éthyléniques $\alpha\beta$ en C_4, C_5, C_8, l'étude des termes en C_6 et C_7 n'est qu'ébauchée. La préparation la plus aisée de tous ces corps se réalise aux dépens des cyanhydrines aldéhydiques. Les cyanhydrines cétoniques se prêtent fort bien à l'obtention des nitriles $\alpha\beta$ éthyléniques à chaîne ramifiée ; leur déshydratation est excessivement aisée et se fait avec des rendements très élevés par l'action du chlorure de thionyle.

Le problème se complique évidemment de deux réactions accessoires possibles : ou bien la cyanhydrine dérive d'une cétone dissymétrique et la déshydratation se fait dans deux sens, ou bien par des phénomènes de migration il se forme des dérivés $\beta\gamma$ à côté de dérivés $\alpha\beta$.

Nous n'examinerons ici que la première éventualité : le problème a été étudié d'une façon complète dans la déshydratation de la méthyl-éthyl-cétone et on a obtenu trois nitriles et trois amides, pour les dérivés de la méthylpropylcétone seuls les trois nitriles ont été isolés et on étudie pour le moment la question des amides.

(¹) J. Verhulst, Travail non encore publié.

Nous prenons l'exemple de la cyanhydrine de la méthyl-éthylcétone. La déshydratation peut fournir trois dérivés :

$$\begin{array}{c} CN \\ | \\ HOC - CH_3 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} CH_3 - C - CN \\ \| \\ H - C - CH_3 \end{array} \qquad \begin{array}{c} CH_3 - C - CN \\ \| \\ CH_3 - C - H \end{array} \qquad \begin{array}{c} C_2H_5 - C - CN \\ \| \\ CH_2 \end{array}$$

Or, il se fait que la variété inférieure du nitrile α méthylcrotonique présente une température d'ébullition très voisine de celle du nitrile éthylacrylique et qu'il est impossible de les séparer par rectification. Voici le procédé utilisé pour les séparer.

Le fractionnement des nitriles bruts fournit un mélange éb. 115 à 122° et un produit de point d'ébullition net à 138°. Celui-ci par fixation d'acide chlorhydrique donne un nitrile β chloré, corps unique de la réaction, éb. 62° sous 12 mm. Le mélange éb. 115° à 122° fournit dans les mêmes conditions un mélange de nitriles β chlorés éb. 62° sous 12 mm. et 72° sous la même pression. Soustrayant ensuite l'acide chlorhydrique par une base tertiaire et de préférence la quinoléine, le dérivé chloré éb. 62° fournit un mélange de deux nitriles isomères en α β qui sont donc les isomères géométriques méthylcrotoniques, le dérivé chloré 72° ne fournit qu'un seul nitrile non saturé en α β, différent des deux premiers, c'est le nitrile éthylacrylique.

On obtient ainsi les trois dérivés suivants :

	méthylcrotonique inférieur	méthylcrotonique supérieur	éthylacrylique
éb	121°	138°	115°
E Σ α	0,66	0,83	0,51

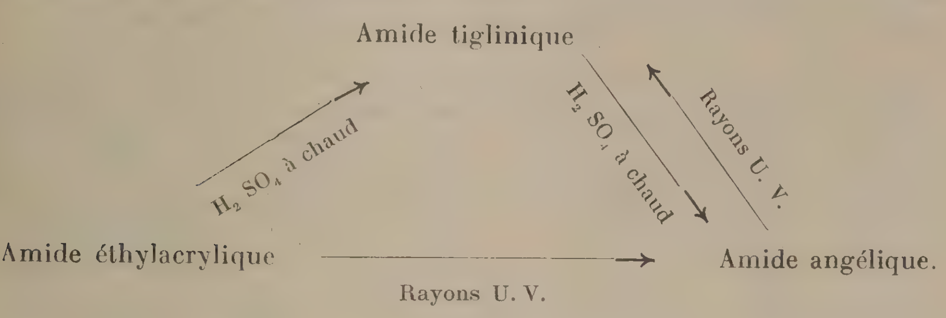
Le nitrile 121° fournit sous l'action de l'acide sulfurique une amide fus. 127°, le nitrile 138° une amide fus. 75°.

Le passage aux acides ne donne aucune indication de struture car les deux nitriles comme les deux amides fournissent exclussivement l'acide tiglinique.

En revanche aux dépens du tiglinate de méthyle on obtient comme produit unique sous l'action de l'ammoniaque une amide fus. 75° identique à celle qui dérive du nitrile supérieur.

Cette amide sous l'action des rayons U. V. est isomérisée à raison de plus de 90 % en une amide fus. 127° identique à celle qui dérive du nitrile méthylcrotonique inférieur éb. 121° ; or, puisque les deux nitriles ont, à part la disposition stérique, la même structure, on peut conclure que l'amide 127° est l'amide angélique ; le nitrile 121° est donc le nitrile angélique, le nitrile 138° le nitrile tiglinique.

Dans le cas présent on a réalisé plusieurs isomérisations des amides qui sont résumées dans le tableau suivant :



Auwers (1) a montré d'une façon définitive que l'acide crotonique a la structure trans, puisque l'acide trichlorocrotonique qui est aisément transformable en acide crotonique par réduction fournit aussi l'acide fumarique par hydratation. Il considère de même l'acide tiglinique comme dérivé trans : le nitrile 121° a donc la structure cis, le nitrile 138° la structure trans.

La difficulté signalée dans la déshydratation de la méthyléthylcétone se reproduit dans la déshydratation de la méthylpropylcétone. En passant de nouveau par les dérivés chlorés d'addition, on a isolé les deux nitriles $\alpha\beta$ diméthylcrotonique cis et trans et le nitrile α propylacrylique :

	$CH_3 - C - CN$ $\Vert$ $H - C - C_2H_5$	$CH_3 - C - CN$ $\Vert$ $C_2H_5 - C - H$	$C_3H_7 - C - CN$ $\Vert$ CH_2
éb.	139°	157°	136°
$E\Sigma\alpha$	0,63	0,81	0,49

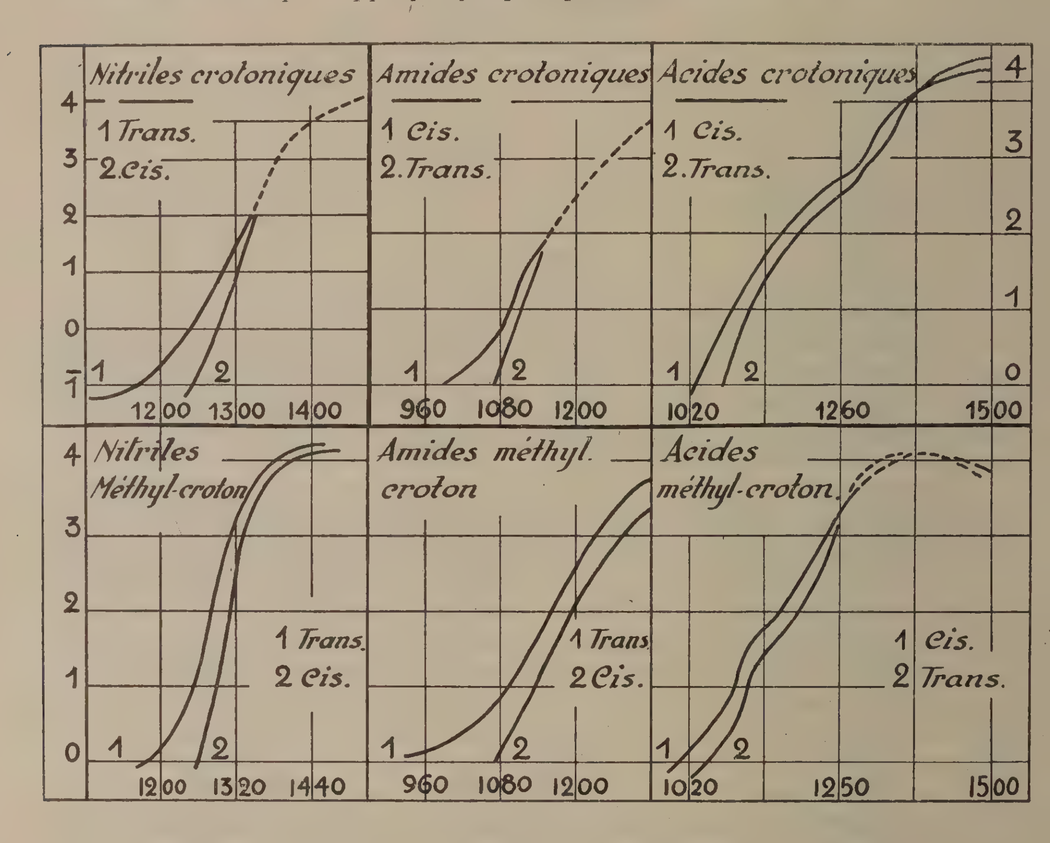
J'ai signalé plus haut que la conclusion de structure tirée de l'analogie des courbes d'absorption ultraviolettes des nitriles et des acides crotoniques était en opposition avec la filiation chimique.

Jusqu'à présent nous n'avons pas à notre disposition un matériel expérimental suffisant concernant les courbes d'absorption ultraviolettes de paires d'isomères géométriques de nitriles, d'amides et d'acides et toute conclusion à ce sujet serait prématurée. Le tableau ci-dessous qui donne les courbes d'absorption ultraviolettes des dérivés crotoniques et des dérivés α méthylcrotoniques montre cependant l'intérêt qu'il y a à continuer des recherches dans cette voie.

On observe donc nettement ici une inversion dans l'allure des courbes d'absorption des isomères cis et trans en passant de la série nitrilique à celle des amides ou à celle des acides et fait curieux l'inversion se produit lors de la transformation nitrile-amide pour les dérivés crotoniques, dans la transformation amide-acide pour les dérivés α méthylcrotoniques. Il est clair dès lors que la règle de V. Henri et Errera ne s'applique pas.

(1) *Ber.*, **56**, 724.

En revanche la règle de Langseht qui compare la fusibilité des isomères géométriques à celle des dérivés bisubstitués correspondants du benzène en o. et p. s'applique jusqu'à présent dans tous les cas.



Je donne ci-dessous les températures d'ébullition et l'exaltation spécifique de réfraction pour Hα de dix termes, formant cinq paires d'isomères géométriques dont on a obtenu des échantillons assez considérables pour pouvoir les soumettre à une purification suffisamment poussée.

$$\begin{array}{c} H - C - CN \\ \| \\ H - C - CH_3 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{c} H - C - CN \\ \| \\ CH_3 - C - H \end{array}$$

éb.	108°	121°
E Σ α	0,77	0,98

$$\begin{array}{c} CH_3 - C - CN \\ \| \\ H - C - CH_3 \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{c} CH_3 - C - CN \\ \| \\ CH_3 - C - H \end{array}$$

éb.	121°	138°
E Σ α	0,66	0,83

	H — C — CN ‖ H — C — C_2H_5	H — C — CN ‖ C_2H_5 — C — H
éb.	127°	144°
E Σ α	0,65	0,81
	CH_3 — C — CN ‖ H — C — C_2H_5	CH_3 — C — CN ‖ C_2H_5 — C — H
éb.	139°	157°
E Σ α	0,63	0,79
	H — C — CN ‖ H — C — C_3H_7 iso	H — C — CN ‖ C_3H_7 iso — C — H
éb.	138°	156°
E Σ α	0,77	0,80

J'y ajoute les constantes des dérivés substitués du nitrile acrylique.

	CN CH ‖ CH_2	CN C — CH_3 ‖ CH_2	CN C — C_2H_5 ‖ CH_2	CN C — C_3H_7 ‖ CH_2
éb.	78°	89°	115°	136°
E Σ α	?	0,57	0,51	0,49

On voit donc que les dérivés cis ont en moyenne une température d'ébullition inférieure de 15° à celle de leurs isomères trans. Or, d'après STOERMER (1) il en est de même pour les esthers cinnamiques et leurs dérivés de substitution et d'après AUWERS (2) cette règle s'applique aussi aux acides oléfiniques de la série grasse et à leurs esthers, la différence n'atteint cependant dans ce cas que 12 à 15°.

L'exaltation spécifique de réfraction est toujours plus faible pour le dérivé cis : elle est comprise pour les cinq termes entre 0,77 et 0,63 pour H α tandis que celle des dérivés trans est comprise entre 1 et 0,79. L'exaltation spécifique est encore plus faible pour les dérivés acryliques substitués : elle varie de 0,57 à 0,49.

(1) *Ber.*, **50**, 954 ; **53**, 1223 ; **53**, 1289.
(2) *Ber.*, **56**, 724.

SUR LA PRÉPARATION DE QUELQUES DÉRIVÉS ALLYLIQUES

par Raymond BRECKPOT

Professeur à l'Université de Louvain.

---

1. — *Le chlorure d'allyle*

Dans une note récente Dewael [1] a montré que l'on peut obtenir très facilement le chlorure d'allyle en saturant à froid l'alcool allylique par HCl gazeux en présence de chlorure cuivreux comme catalyseur. Le formiate et l'oxyde d'allyle se laissent transformer dans les mêmes conditions.

Nous avons constaté que la réaction se fait tout aussi bien en employant la solution d'acide chlorhydrique, l'acide concentré D. 1,19. Cet acide dissout l'alcool allylique. Si l'on ajoute un peu de chlorure cuivreux la solution se trouble bientôt et après un quart d'heure on constate l'apparition d'une couche surnageante qui va en augmentant petit à petit : c'est du chlorure d'allyle. Après 2 heures la séparation atteint 50 % de la quantité prévue, après un jour 80 %.

Mais si l'on ajoute en outre un peu d'acide sulfurique concentré la séparation est beaucoup plus rapide et plus complète. On met en présence 100 cc. d'alcool, 150 cc. de HCl conc. et 1 à 2 gr. de CuCl, puis on ajoute petit à petit 50 cc. de H_2SO_4 conc. L'addition de l'acide sulfurique doit se faire prudemment et en refroidissant. Il se fait un vif dégagement de bulles de HCl dans la masse liquide mais qui sont facilement réabsorbées. Le liquide se trouble après quelques instants et après 25-30 minutes le chlorure d'allyle s'est complètement séparé.

On peut également ajouter l'acide sulfurique avant de mettre le catalyseur. On évite ainsi les pertes de chlorure d'allyle très volatil par suite de l'échauffement que provoque l'addition de H_2SO_4. On peut ajouter facilement petit à petit en refroidissant 50 cc. de H_2SO_4 conc. à un mélange de 100 cc. d'alcool allylique (à 80 %) et 150 cc. de HCl sans qu'il ne s'échappe du HCl gazeux. Celui-ci reste fixé dans la solution mais sans cependant qu'il y ait eu éthérification de l'alcool. Il y a d'abord addition de l'acide HCl à l'hydroxyle de l'alcool. Si on abandonne le mélange au repos ce n'est qu'après de nombreuses heures qu'il apparaît une petite couche surnageante de chlorure d'allyle représentant après un jour 10 %, après trois jours 40 % de la quantité théorique. En même temps toute la masse s'est colorée en brun foncé par suite de l'action du H_2SO_4 conc. sur l'alcool allylique.

[1] Dewael, *Bull. Soc. chim. Belg.*, **39**, 40 (1930).

Si au contraire on ajoute un peu de catalyseur CuCl la séparation du chlorure d'allyle se fait aussitôt : la solution se trouble en quelques secondes, en moins de 10 minutes la moitié du chlorure d'allyle s'est séparée, après une demi-heure la séparation est complète.

La quantité de H_2SO_4 à ajouter pour obtenir une bonne séparation doit être d'autant plus forte que l'alcool est plus dilué. La séparation réussit encore avec des solutions renfermant 10 % d'alcool allylique.

Le liquide surnageant incolore séparé dans ces essais n'est cependant pas du chlorure d'allyle tout à fait pur. Il entraîne un peu d'alcool allylique non transformé et dans le cas où l'alcool contient du formiate d'allyle (préparation de l'alcool allylique par l'action de l'acide formique sur la glycérine) celui-ci se sépare comme tel.

Si l'on traite du formiate d'allyle par HCl conc. on obtient en agitant la dissolution réciproque. En ajoutant ensuite un peu de H_2SO_4 conc. on n'observe pas de pertes appréciables de HCl. Si l'on ajoute alors un peu de CuCl il apparaît un trouble immédiat et en 10 minutes la séparation est terminée. Mais le produit ainsi séparé est pour la majeure partie du formiate d'allyle non transformé.

Si au lieu d'opérer à froid on chauffe au bain-marie, le formiate d'allyle se transforme complètement en chlorure d'allyle qui distille sans entraîner du formiate inaltéré. Il en est de même pour l'alcool allylique. Le chlorure d'allyle séparé par distillation à la température du bain-marie est pratiquement exempt d'autres produits. On procède comme suit :

On introduit dans un ballon l'alcool allylique, le formiate d'allyle ou le mélange des deux avec une quantité de HCl conc. constituant un léger excès (100 cc. par molécule d'alcool) et 1-2 gr. de CuCl. Le ballon est muni d'un tube de dégagement raccordé à un bon réfrigérant descendant, d'un thermomètre et d'un entonnoir à robinet par lequel on ajoute l'acide sulfurique conc. (environ 20 cc. par mol. d'alcool). On en ajoute une partie d'emblée et le reste petit à petit tout en chauffant au bain d'eau. Le chlorure d'allyle se sépare immédiatement et distille. Il est bon d'agiter prudemment pour répartir l'acide sulfurique et favoriser l'élimination rapide du chlorure qui passe intégralement en dessous de 47° ; à ce moment la distillation s'arrête. Il passe en même temps des quantités assez fortes de HCl gazeux.

Le rendement, pour un grand nombre d'opérations, a varié de 93 à 98 % de produit brut qui après dessiccation sur $CaCl_2$ distille presque intégralement de 45 à 47°, quelques gouttes à peine passent de 47 à 50° et le thermomètre ne dépasse pas cette température.

La transformation du formiate d'allyle n'exige pas la présence d'acide sulfurique ; celle de l'alcool demande la dose indiquée, et d'autant plus que l'alcool est plus dilué. Si on opère en absence d'acide sulfurique ou avec une quantité trop réduite, les rendements sont inférieurs et la distillation s'arrête moins nettement vers 47°, il passe des produits jusqu'à 55° (alcool

allylique entraîné avec peut-être un peu d'oxyde d'allyle). En les traitant à nouveau par HCl + H_2SO_4 + CuCl au bain d'eau on obtient uniquement du chlorure.

On peut débarrasser le chlorure d'allyle obtenu par cette méthode de l'acide chlorhydrique et éventuellement de l'acide formique (du formiate d'allyle) qu'il retient par lavage à l'eau carbonatée suivie de dessiccation sur $CaCl_2$.

Le produit est très pur et reste tout à fait incolore. L'emploi de H_2SO_4 pour son obtention ne semble nullement présenter les inconvénients indiqués par McCullough [1] qui signale que les halogénures d'allyle préparés avec intervention de H_2SO_4 se conservent mal par suite de la présence de dérivés de polymérisation. Il est à remarquer d'ailleurs que toute l'opération est finie en une quinzaine de minutes (pour 1,5 mol.) et que la température de préparation reste très basse.

Nous avons recherché si d'autres catalyseurs ne provoqueraient pas la même réaction sans en trouver. Contrairement aux sels cuivreux les sels cuivriques ne catalysent nullement la réaction. Mais si on ajoute un peu de $SnCl_2$ afin de réduire Cu^{++} en Cu^{+} la séparation du chlorure d'allyle se manifeste immédiatement.

Signalons que le chlorure d'allyle se forme par l'action de HCl conc. en absence de catalyseur, mais la réaction est alors excessivement lente : à froid ce n'est qu'après trois à quatre jours qu'il apparaît une petite couche surnageante. Pourtant tout récemment, en 1929, McCullough et Cortese (*loc. cit.*) proposent cette façon de procéder comme méthode de préparation du chlorure d'allyle. On obtiendrait 55 à 65 % de chlorure après dix jours.

Si l'on chauffe l'alcool allylique avec HCl il distille petit à petit du chlorure d'allyle (procédé Norris, rendement 50 % [2]. La distillation ne commence qu'au delà de 75° et est très lente. Si l'on ajoute alors un peu de CuCl l'éthérification se fait instantanément et on a une brusque volatilisation du chlorure d'allyle formé. L'emploi du catalyseur présente donc des avantages incontestables.

Il en est de même pour le formiate d'allyle. Signalons cependant que dès 1918 Aschan [3] a obtenu avec de bons rendements du chlorure d'allyle, aux dépens du formiate d'allyle en opérant en présence de 10 % de chlorure de zinc à la température du bain d'eau.

Il est curieux de constater que l'influence catalytique du CuCl semble spécifique pour les dérivés allyliques. Ni l'alcool éthylique, ni l'alcool butylique, ni l'alcool amylique ne se laissent éthérifier à froid par HCl conc. en présence de CuCl.

Le rôle exact des sels cuivreux dans ces réactions des dérivés allyliques fait l'objet de recherches en cours.

(1) McCullough et Cortese, *J. Am. Chem. Soc.*, **51**, 225 (1929).
(2) Norris, *J. Am. Chem. Soc.*, **38**, 1075 (1916).
(3) Aschan, *C. A.*, **13**, 2868 (1919).

2. — *Le nitrile vinylacétique*

La meilleure méthode de préparation décrite jusqu'à présent est celle de BRUYLANTS [1] par action du cyanure cuivreux sur le bromure d'allyle. Tout le brome du bromure d'allyle passe à l'état de bromure cuivreux et ne peut guère être récupéré. Ayant à préparer de fortes quantités de nitrile, nous avons essayé d'éviter l'emploi d'acide bromhydrique coûteux et nous avons constaté que la préparation du nitrile vinylacétique réussit tout aussi bien en remplaçant le bromure par le chlorure d'allyle.

Bruylants signale que le bromure d'allyle réagit plus facilement avec le cyanure cuivreux que l'iodure d'allyle. Tout comme le bromure, le chlorure d'allyle permet des rendements très élevés, mais la réaction est cependant moins vive et plus longue ; elle s'effectue d'ailleurs à température plus basse.

On chauffe à reflux au bain-marie le chlorure d'allyle avec un léger excès de CuCN (5 %). Le ballon doit être muni d'un bon réfrigérant. Le CuCN n'est pas mouillé par le chlorure et ce n'est que petit à petit que la réaction s'amorce. Après trois heures, on obtient une masse liquide noirâtre ; à ce moment la réaction peut devenir plus vive. Après trois heures et demie à quatre heures, il ne distille plus de chlorure d'allyle et la réaction est terminée. Il est bon d'agiter de temps en temps prudemment pendant ce dernier stade.

Par refroidissement tout se prend en une masse visqueuse d'une combinaison additionnelle du nitrile avec CuCl.

On peut en isoler le nitrile par entraînement à la vapeur d'eau, mais on a ainsi des rendements très inférieurs. Le plus simple est de soumettre comme dans la méthode au bromure, à la distillation au bain d'huile. On obtient ainsi environ 90 % de nitrile brut qui redistillé après dessiccation sur P_2O_5 se montre très pur, passant presque complètement de 117 à 119° sans laisser de résidu.

Le point d'ébullition et son action énergique sur le brome montrent qu'il s'agit bien du nitrile vinylacétique. Les pertes sont dues vraisemblablement à la grande volatilité du chlorure d'allyle.

Le nitrile vinylacétique peut également être obtenu avec d'assez bons rendements et d'une façon extraordinairement rapide en partant directement de l'alcool allylique.

On traite l'alcool par les quantités voulues de CuCN et de HCl conc. en léger excès. Chauffant au bain d'eau on observe presque immédiatement une ébullition marquée due au chlorure d'allyle formé (le cyanure cuivreux servant de catalyseur); on observe également un léger dégagement de HCN. Après quelques minutes la réaction devient assez vive, le cyanure cuivreux s'est dissous en un liquide noir et il surnage une couche de chlorure d'allyle. En agitant prudemment, celle-ci diminue de plus en plus et en 15-20 minutes la réaction est complètement achevée. Par refroidisse-

[1] BRUYLANTS, *Bull. Soc. chim. Belg.*, **31**, 175 (1922).

ment on obtient le dépôt d'une masse visqueuse de combinaison additionnelle qui généralement ne tarde pas à cristalliser.

On soumet le tout à la distillation au bain d'huile. Le distillat se sépare en deux couches. On obtient aux dépens d'une molécule d'alcool allylique environ 60 gr. de produit brut surnageant. La couche aqueuse est légèrement acide, en la soumettant à une distillation les premières fractions obtenues se séparent en deux couches, ce qui permet de décanter encore 5 gr. de produit surnageant. Après lavage avec un peu d'eau et dessication sur P_2O_5 on a un produit à odeur désagréable sentant fortement HCN.

En soumettant à une rectification avec une colonne Crismer on obtient dès la première distillation environ 90 % de produit passant de 117° à 119°. Le résidu dans le ballon est insignifiant. Le rendement en nitrile pur est de plus de 85 %.

Les premiers échantillons de nitrile que nous avions préparé par cette méthode distillaient bien moins nettement et les rendements étaient plus faibles. Nous avions, il est vrai, soumis ces échantillons à une première dessication par K_2CO_3, en vue de les débarasser du HCl en excès, et il est possible que cet alcali ait provoqué une isomérisation partielle en nitriles crotoniques.

La fraction de tête renferme des quantités appréciables d'acide cyanhydrique. C'est celui-ci qui communique au produit brut son odeur pénétrante désagréable. Il y a en outre du chlorure d'allyle et un peu d'oxyde d'allyle.

On peut constater dans certaines conditions (essais en présence d'un excès de HCl) qu'il passe vers la fin de la distillation au bain d'huile une substance qui n'est pas du nitrile vinylacétique, soluble dans l'eau, pouvant être extraite à l'éther, bouillant vers 160-170° et réagissant énergiquement avec le brome. Il s'agit vraisemblablement d'un peu d'acide vinylacétique.

En effet, nous avons constaté que l'acide chlorhydrique conc. saponifie avec la plus grande facilité le nitrile vinylacétique à chaud en précipitant en fort peu de temps la quantité équivalente de chlorure d'ammonium et en formant l'acide non saturé correspondant. L'on sait que HCl gazeux, au contraire, se fixe sur la double soudure en donnant le nitrile chlorobutyrique (Bruylants, *loc. cit.*, p. 179). L'étude de cette réaction sera publiée ultérieurement.

Dans ces conditions, on pourrait s'étonner que la réaction brutale employée, alcool + HCl conc. + CuCN, puisse donner cependant de si bons rendements en nitrile vinylacétique. On se place, en effet, dans des conditions qui à priori devraient favoriser toutes sortes de réactions secondaires. Que l'on songe cependant que l'alcool est presque intégralement transformé en chlorure d'allyle en quelques minutes, il ne reste ainsi plus en présence que du chlorure d'allyle, du CuCN et de l'eau avec un peu de HCl en excès. Alors que l'action du chlorure d'allyle sur le CuCN sec demande plusieurs heures, il se fait qu'ici la réaction est terminée en quinze minutes.

Nous employons par molécule d'alcool à transformer 90 cc. de HCl conc.

Dans ces conditions, on retrouve par titrage de la couche aqueuse séparée à la distillation au bain d'huile une dose de HCl à peu près équivalente à 5 cc. de HCl conc. Si l'on augmente la dose de HCl on ne retrouve plus complètement l'excès par titrage et les rendements en nitrile diminuent un peu. Avec le double de la dose de HCl, le rendement en nitrile est encore de 50 % mais la quantité d'acide non saturé a nettement augmenté.

Étant donné la rapidité de la transformation de l'alcool allylique en nitrile dans les conditions que nous venons de signaler, nous avons essayé s'il n'y avait pas moyen d'accélérer également la préparation du nitrile aux dépens du chlorure d'allyle comme tel. La réaction entre les produits secs demande trois heures et demie à quatre heures. Ajoutant par molécule 50 cc. d'eau la réaction est terminée en une heure à une heure et quart. En distillant au bain d'huile on obtient un rendement en nitrile légèrement inférieur à celui obtenu en absence d'eau.

En variant la dose d'eau, nous n'avons pu obtenir de réaction plus rapide, non plus qu'en ajoutant un peu de HCl. La grande rapidité de la transformation de l'alcool en nitrile doit être due, semble-t-il, au fait que le CuCN est solubilisé par HCl conc. et que c'est ce produit qui amorce la réaction avec le chlorure d'allyle formé par ailleurs.

Tout comme l'alcool allylique, le formiate d'allyle se laisse transformer avec la plus grande facilité en nitrile vinylacétique par l'action combinée du cyanure cuivreux et de HCl conc. On opère dans les mêmes conditions que pour l'alcool, la réaction a la même allure, il se fait intermédiairement le chlorure d'allyle et tout est terminé en vingt minutes. Le rendement en nitrile est à peu près le même. La couche aqueuse séparée à la distillation au bain d'huile est évidemment ici très acide et riche en acide formique. On décante, lave à l'eau et sèche sur P_2O_5.

Nous avons essayé de remplacer CuCN par KCN dans ces diverses opérations sans obtenir de résultat. Nous avons également essayé l'action directe du formiate d'allyle sur le cyanure cuivreux mais n'avons pu obtenir de réaction.

Résumé

1. Nous signalons une méthode de préparation du chlorure d'allyle extrêmement rapide et donnant des rendements presque quantitatifs en produit très pur. La méthode est applicable aussi bien au formiate d'allyle qu'à l'alcool allylique et la présence d'eau ne gêne pas, ce qui permet d'utiliser directement le mélange alcool allylique aqueux + formiate d'allyle que l'on obtient par l'action de l'acide formique sur la glycérine.

2. Nous avons montré que le nitrile vinylacétique peut s'obtenir avec des rendements élevés et très pur aux dépens du chlorure d'allyle.

3. Le nitrile vinylacétique peut s'obtenir d'une façon extraordinairement rapide par l'action directe d'un mélange de CuCN + HCl conc. sur l'alcool allylique, le formiate d'allyle ou le mélange des deux.

ÉTUDE SUR LES AMINOBUTÈNES NORMAUX

par le Capitaine du Génie E. GALAND,

Répétiteur de Chimie à l'Ecole militaire.

L'étude des butènes nitriles et de leurs homologues supérieurs faite ces dernières années par M. le professeur Bruylants et ses élèves ayant permis d'isoler le plus souvent deux isomères, il paraissait possible d'étendre la même étude aux aminobutènes. C'est de ce point de vue que M. le professeur Bruylants nous a chargé d'examiner l'amine crotonique.

Ce corps a été préparé successivement par SCHINDLER (1) par réduction de la crotonaldoxime par l'amalgame de sodium ; par BOOKMANN (2) par action de K O H sur la β chlorbutylamine ; par LUCHMANN (3) par action de K O H sur la γ chlorbutylamine ; par MAILHE (4) par action de l'hydrogène à 200° sur le nitrile crotonique avec le Ni comme catalyseur.

Ces divers auteurs ont donné des températures d'ébullition de l'amine crotonique variant de 80 à 90°. De plus, les essais d'identification semblent toujours avoir été interrompus faute de produit et les constantes n'ont pas été déterminées. Nous espérions qu'en préparant en quantité suffisante l'amine crotonique, on arriverait à séparer ses deux isomères stériques.

Le but poursuivi indiquait comme point de départ de la préparation : le nitrile crotonique. La réduction de ce nitrile par le sodium et l'alcool anhydre nous a donné à côté d'amine γ éthoxybutyrique, de la butylamine identifiée par sa phénylthiourée. fus. : 65° (5).

L'essai de réduction du nitrile crotonique par le zinc et l'acide acétique a donné des rendements trop minimes en amine crotonique que pour pouvoir être retenu.

Dès lors, nous sommes partis du nitrile vinylacétique préparé avec d'excellents rendements par l'action du cyanure cuivreux sur le bromure d'allyle (6).

Du nitrile vinylacétique, nous passons au nitrile β éthoxybutyrique par action de l'alcool éthylique en présence d'alcoolate de sodium (7).

(1) *Monatshefte*, **12**, 416.
(2) *Ber.*, **28**, 3114.
(3) *Ber.*, **29**, 1431.
(4) *Ann. Chimie*, **13**, 222.
(5) *C.* (1927), **1**, 750.
(6) BRUYLANTS, *Bul. Soc. chim. belge*, **31** (1922).
(7) BRUYLANTS, *Bul. Soc. chim. belge*, **31** (1922).

Le nitrile β éthoxybutyrique est transformé en amine γ éthoxybutyrique par le sodium et l'alcool éthylique anhydre [1].

Le rendement de cette dernière préparation est de 50 % en amine γ éthoxybutyrique et de 10 % en butylamine identifiée par sa phénylthiourée.

Constantes de l'amine γ éthoxybutyrique données par Luchmann.

Temp. d'ébullition ; 145 à 146° sous 748 m/m ;
Densité 19/4 : 0,8468.

Constantes trouvées :

Temp. d'ébullition : 144,4 à 146° sous 754 m/m ;
Densité 20/4 : 0,8487.
$n_\alpha = 1{,}42065$; $n_D = 1{,}42323$; $n_\beta = 1{,}42799$.

Réfraction moléculaire

	calculée	observée	ΔR_m
H α	34,81	34,97	+ 0,16
D	34,97	35,156	+ 0,18
H β	35,343	35,504	+ 0,16

L'amine γ éthoxybutyrique $CH_3-\underset{\displaystyle OC_2H_5}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_2-NH_2$ est transformée par HBr fumant en $CH_3-\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_2-NH_2\,HBr$; par action de K O Haq sur ce bromhydrate, on obtient l'amine crotonique avec rendement ne dépassant pas 10 %, la potasse alcoolique ne donne pas mieux que la potasse aqueuse ; avec la quinoléine, nous avons pu atteindre le rendement de 20 %, Nous avons préparé ainsi environ 100 grammes d'amine bouillant de 80 à 90°.

Mode opératoire

25 grammes d'amine γ éthoxybutyrique sont ajoutés goutte à goutte par entonnoir à robinet à 120 grammes d'acide bromhydrique fumant. On agite, au cours de l'introduction, la solution qui s'échauffe assez fortement [2]. L'addition achevée, on distille le bromure d'éthyle, dont la

(1) Luchmann, *Ber.*, **29**, 1420 (1896).

(2) Ce procédé d'halogénation est bien plus commode que celui employé par Luchmann et encore tout récemment par de Montmollin et Zolliker (*Helvetica Chimica Acta*, **12**, 610 [1929]) qui chauffent en tube scellé.

quantité recueillie, accuse pour l'opération un rendement de 80 %. On évapore à sec, au bain-marie, le bromhydrate de l'amine bromée. On lui ajoute 54 grammes de quinoléine et on chauffe au bain d'eau pendant deux jours, avec réfrigérant ascendant. De la masse devenue sirupeuse, on met l'amine crotonique en liberté par la soude et on distille au bain d'huile. On sèche le distillat sur K_2CO_3, puis sur KOH. On sépare par distillation, d'abord la fraction principale passant de 80 à 90° (1).

Essai de séparation des isomères par distillation fractionnée

Cette fraction, après quelques tours de distillation, à la colonne Crismer, bout presque entièrement de 80 à 84° sans que l'on puisse, dans cet intervalle de 4°, distinguer une ou plusieurs fractions dans lesquelles les distillats répétés ont tendance à s'accumuler. Après quinze tours de distillation dans l'air sec, le produit toujours maintenu sur KOH, nous obtenons cinq fractions bouillant respectivement de 79°,4 à 80°,6 ; 80°,6 à 81°,6 ; 81°,6 à 82°,6; 82°,6 à 83°,6; 83°,6 à 84°,6 sous 755 mm., chacune des deux soulignées étant presque double de chacune des autres.

Un échantillon de chaque fraction, titré par HCl N/10 a donné au produit aminé primaire y supposé les poids moléculaires respectifs : 72,50; 72,53 ; 72,67 ; 73 ; 72,8.

Le poids moléculaire théorique de l'amine crotonique étant 71, on pouvait attribuer la différence constatée à une certaine quantité d'eau souillant le produit. De plus, si deux isomères étaient en présence ; ou bien, leurs points d'ébullition étaient tellement rapprochés que la distillation fractionnée était impuissante à les séparer ; ou bien, l'eau les accompagnant empêchait leur séparation. Nous avons essayé la déshydratation par l'oxyde de baryum provenant de la calcination du nitrate ; après un contact de vingt-quatre heures avec BaO, les fractions dont ci-dessus question, accusaient les poids moléculaires respectifs : 72,20 ; 72,23 ; 72 ; 72,7 ; 72,5.

Le produit au contact de sodium dégageait toujours de l'hydrogène. Nous l'avons redistillé six fois sur le sodium, à l'abri de l'humidité de l'air et la quasi totalité a passé sur trois degrés donnant trois fractions : 81°-82° ; 82°-83° ; 83°-84°, sous 757 m/m, dont la médiane était sensiblement double des deux autres. Les poids moléculaires correspondants étaient 71,74 ; 71,53 ; 71,50.

Après une nouvelle exposition de trois jours sur BaO et trois heures sur Na, le poids moléculaire de la fraction 82°-83° (fraction principale) restait inchangé. Notons ici que l'hygroscopicité du produit est telle que, mis

(1) Les autres produits aminés, résultant de la réaction (environ le tiers de la fraction principale) distillent jusqu'à 300°. Ces produits supérieurs ont été redistillés plusieurs fois, à la pression atmosphérique et sous pression réduite. Ceux qui provenaient de la préparation de l'amine crotonique par l'action de KOH sur $CH_3 - \underset{Br}{\underset{|}{CH}} - CH_2 - CH_2 - NH_2\ H\ Br$ ont donné une fraction principale passant de 173 à 180° sous la pression atmosphérique et dont l'étude n'a pu être poursuivie.

en contact du sodium en atmosphère sèche, le dégagement d'hydrogène cesse après deux heures environ, dès que l'on remet le produit en communication avec l'air atmosphérique, instantanément recommence le dégagement d'hydrogène.

Constantes physiques des trois fractions

(81-82, 82-83, 83-84 sous 757 m/m)

Fractions	Densité 20°/4°	n_α	n_D	n_β
81 - 82	0,7767	1,42548	1,42835	1,43542
82 - 83	0,7771	1,42740	1,43016	1,43792
83 - 84	0,7779	1,42861	1,43167	1,43902

Réfractions moléculaires

	Amine crotonique $CH_3 - CH$ $= CH - CH_2\ NH_2$	Fraction 81 - 82		Fraction 82 - 83		Fraction 83 - 84	
	Réfraction moléculaire calculée	Réfraction moléculaire observée	ΔR_m	Réfraction moléculaire observée	ΔR_m	Réfraction moléculaire observée	ΔR_m
H α	23,475	23,437	— 0,038	23,505	0,030	23,538	0,063
D	23,627	23,561	— 0,066	23,637	0,010	23,685	0,058
H β	23,979	23,899	— 0,08	24,008	0,029	24,037	0,058

Essai de séparation des isomères par les dérivés cristallins

L'isosulfocyanate de phényle fournit un produit soluble à chaud dans l'alcool et le benzène et cristallisant à froid.

Mode opératoire. — On dissout 2 à 3 grammes d'amine dans le benzène, on y ajoute, en plusieurs fois, un léger excès d'isosulfocyanate de phényle. On agite en refroidissant de manière à toujours maintenir la préparation à la température ambiante ; quand l'addition du réactif est terminée et que la température ne s'élève plus, par cessation du refroidissement, on évapore le benzène au bain-marie et on obtient un sirop épais d'où cristallise la thiourée.

Allure de la cristallisation

Les premiers cristaux qui se forment par refroidissement brusque de leur solution benzénique fondent d'abord de 95 à 103°, les cristaux de second jet fondent de 94 à 100° ; ceux du troisième jet, de 85 à 94°

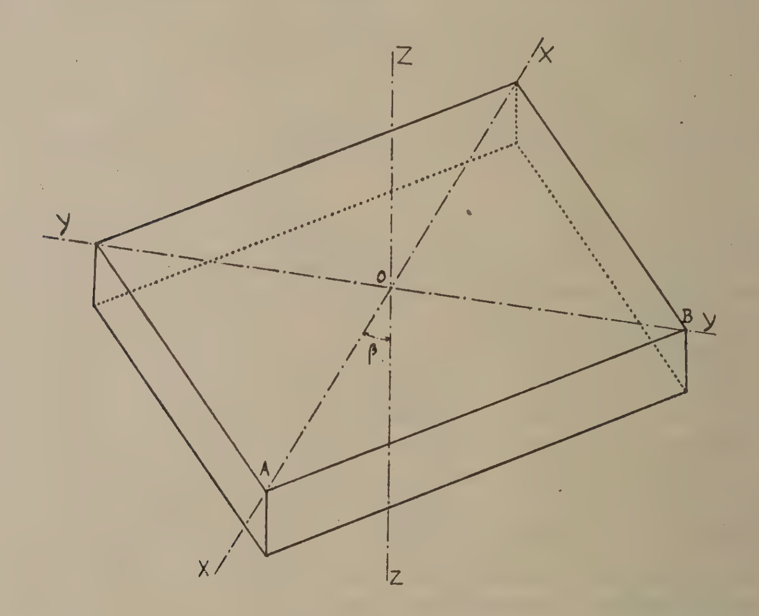
Les cristallisations fractionnées successives (une quarantaine) élèvent progressivement le point de fusion des cristaux venus de tous les jets jusque 106°, avec commencement de ramollissement à 103°.

Il faut donc conclure de cet essai que nous n'avons obtenu qu'un seul isomère géométrique.

Les cristaux obtenus, petites tablettes en losange très minces, transparentes et incolores, sont tous identiques au point de vue cristallographique. Le cristal est biaxe, le plan des axes optiques perpendiculaire à la face d'aplatissement, bissecte les angles obtus du losange, c'est le plan de symétrie du cristal, un des axes optiques fait un angle de 50°, avec la face d'aplatissement, la trace de l'autre n'apparaît pas dans le champ du microscope.

Le cristal appartient au système monoclinique.

On trouvera ci-après sa représentation schématique.



Les angles des faces aboutissant au sommet A ont été mesurés et ont permis de calculer l'angle β et le rapport $\frac{b}{a}$ de deux paramètres.

$$\mathrm{O\,B} = b,\ \mathrm{O\,A} = a,\ \frac{b}{a} = 1{,}0863\ ,\ \beta = 76°\,6'$$

N.-B. — La même thiourée est obtenue aussi bien en partant de la fraction d'amine 81-82° que de la fraction 82-83° ou 83-84°.

Un dosage d'azote des cristaux a donné :

% trouvé : 13,65 ; % théorique : 13,59.

Notons que Luchmann, aux dépens d'amine préparée par la même

voie, obtient une thiourée en fines aiguilles commençant à ramollir à 94° et fondant à 97° ; c'est probablement le même produit, mais impur.

D'ailleurs, le chloroplatinate de l'amine préparée par Luchmann fond comme le nôtre de 203° à 204°, donne à l'analyse : 35,42 % de platine, alors que le nôtre en accuse 35,36 %, le pourcentage théorique étant 35,27 %. De plus, l'aspect cristallin est le même : tablettes hexagonales sensiblement perpendiculaires à la bissectrice aiguë des axes optiques. Cristal négatif.

Un second dérivé de l'amine a été obtenu par l'action de l'isocyanate de phényle: ses cristaux se ramollissent à 127° et fondent à 130°. Ce sont des aiguilles transparentes, petits prismes aplatis parallèlement à l'allongement et perpendiculairement à n_p. Le plan des axes optiques est perpendiculaire à l'allongement, le cristal est négatif, il appartient vraisemblablement au système monoclinique, l'allongement se faisant suivant l'axe de symétrie. Il n'a pu être mesuré d'angles sur ce cristal.

Le manque de netteté dans la fusion des dérivés de l'amine que nous avons obtenue pouvait encore faire douter d'une *structure* unique, cependant que LUCHMANN [1] lorsqu'il prépara la thiourée de l'amine γ chlorobutyrique, trouva un corps se ramollissant à 104° et fondant à 106°,5.

D'ailleurs, avions-nous réellement obtenu de la crotylamine, ou étions-nous en présence d'amine vinyléthylique : $CH_2=CH-CH_2-CH_2-NH_2$. Pour répondre à cette question, nous avons réduit respectivement les nitriles crotonique et vinylacétique par le couple zinc-cuivre et l'acide acétique aqueux.

Mode opératoire

(Identique pour le nitrile crotonique et le nitrile vinylacétique.)

17 grammes de nitrile sont dissous dans leur égal volume d'eau dans un ballon de 1 litre surmonté d'un réfrigérant ; on y ajoute par petites portions 60 grammes de couple Zn-Cu et 120 grammes d'acide acétique pur, en procédant à une nouvelle addition des réactifs chaque fois que se ralentit la réaction. Il arrive un moment où l'acétate de Zn commence à cristalliser. On achève alors la réaction en chauffant au bain-marie et en procédant à des additions d'eau successives, compatibles avec la solubilité du nitrile en traitement. La réaction dure plusieurs jours. On met l'amine en liberté par la soude, on l'entraîne à la vapeur d'eau, on en fait le chlorhydrate que l'on évapore au bain-marie, on distille sur la potasse, on sèche, on rectifie.

Cette hydrogénation ne donne cependant que des rendements très minimes en amines non saturées.

L'amine provenant de l'hydrogénation du nitrile crotonique fournit la même thiourée que celle que nous avons obtenue ci-avant.

L'amine venant de l'hydrogénation du nitrite vinylacétique absorbe la quantité théorique de brome qui correspond à sa saturation complète ; elle présente les caractéristiques suivantes relevées sur la fraction principale

(1) *Ber.*, **29**, 1432.

des produits distillants de 80 à 85°, fraction qui comporte la quasi-totalité du distillat passant dans cet intervalle.

T_e sous 748,5 mm. : 81° à 82°5.
Densité 20°/4° ; 0,7735
Valeur des indices de réfraction ; $n_\alpha = 1{,}42458$
$n_D = 1{,}42734$
$n_\beta = 1{,}43394$

	Réfraction moléculaire calculée $CH_2 = CH - CH_2 - CH_2 - NH_2$	Réfraction moléculaire observée	Λ_{Rm}
H α	23,475	23,477	+ 0,002
D	23,627	23,610	— 0,017
H β	23,979	23,929	— 0,050

C'est un corps très hygroscopique, dont les vapeurs au cours de la distillation provoquent le larmoiement ; cette caractéristique la différencie de l'amine crotonique que nous avons préparée ci-avant, laquelle est moins agressive.

Sa thiourée paraît ne pas différer cristallographiquement de celle de de l'amine crotonique. Il a été cependant impossible d'en obtenir à l'état pur des cristaux suffisamment bien formés que pour pouvoir faire des lectures d'angles précises. Toutefois, l'allure de la cristallisation de la thiourée de l'amine crotonique est toute différente de celle de la présente amine. La solubilité de la première dans le benzène est moindre que celle de la seconde.

Les cristaux de la première prennent instantanément sur la lame du couteau mouillée de leur solution benzénique. Les cristaux de la deuxième prennent lentement dans les mêmes conditions. Enfin, les points de fusion sont différents, la thiourée de l'amine vinyléthylique (dérivant du nitrile vinylacétique donc) ramollit à 88° et fond à 91°. En tout état de cause, le produit que nous avons obtenu diffère par sa forme cristalline et par sa température de fusion de la thiourée préparée par Luchmann à partir de l'amine isocrotonique à laquelle il donnait la formule $CH_2 = CH - CH_2 - CH_2NH_2$; formule que nous avons toutes raisons de croire être celle de l'amine que nous venons d'obtenir à partir du nitrile vinylacétique et que nous appelons amine vinyléthylique.

De cette étude, il en est résulté pour nous la conviction d'avoir préparé effectivement l'amine crotonique à partir de l'amine γ éthoxybutyrique. Le point de savoir si nous nous trouvions en présence d'une *structure unique* a trouvé sa solution dans l'essai final que nous avons tenté sur les 4 derniers grammes d'amine qui nous restaient après être parti, ainsi que nous l'annoncions ci-avant, d'une centaine de grammes de produit bouillant de 80° à 90°.

Passage de l'amine crotonique à l'alcool crotylique

Par l'action de $AgNO_2$ sur le chlorhydrate de l'amine, filtration du $AgCl$, extraction à l'éther et distillation, nous avons obtenu l'alcool crotylique en quantité évidemment trop faible pour que puisse en être faite une identification par le point d'ébullition, mais suffisante pour en préparer la phényluréthane qui s'est révélée être la même que celle préparée tout récemment dans les laboratoires de M. le professeur Bruylants à partir de l'alcool crotylique pour lequel la position de la double soudure ne fait aucun doute ; l'alcool vinyléthylique fournissant d'ailleurs une phényluréthane fondant de 23°,5 à 24° [1], alors que celle de l'alcool crotylique fond de 79°,4 à 80°.

*
* *

En conclusion, nous donnons :

1° A l'amine obtenue à partir de l'amine γ éthoxybutyrique ou du nitrile crotonique la formule :

$$CH_3-CH=CH-CH_2NH_2$$

dont nous n'avons isolé qu'un isomère géométrique ;

2° A l'amine obtenue à partir du nitrile vinylacétique la structure :

$$CH_2=CH-CH_2-CH_2NH_2.$$

*
* *

En terminant cet exposé, il nous est particulièrement agréable d'exprimer toute notre gratitude à M. le professeur Bruylants, qui ne cessa de nous prodiguer ses enseignements et ses conseils précieux au cours de notre travail.

[1] C., **111**, 773 (1923).

BIJDRAGE TOT DE STUDIE VAN DE BUTENOLEN

door J. VERHULST, Dr. Sc.

(Laboratorium voor Algemeene Scheikunde aan de Universiteit te Leuven)

Krotylalkohol is de eenvoudigste vertegenwoordiger van alle alkoholen wier struktuur het bestaan van geometrische isomeren laat vermoeden.

De tot hiertoe gekende gegevens nopens die stof stemmen allen goed overeen : het blijkt wel dat de verschillende navorschers (1) nagenoeg hetzelfde produkt hebben bekomen alhoewel langs zeer uiteenloopende wegen voorbereid ; hetgeen laat veronderstellen dat een der beide isomeren bestendiger zou zijn dan het andere. Het was daarom geenszins nutteloos die stof langs andere methoden om voor te bereiden, met het doel haar in hare twee varieteiten te kunnen splitsen.

Vooreerst hebben we getracht de vinyl-ethylalkohol om te zetten in krotylalkohol, steunende op de menigvuldige proeven gedaan in het laboratorium van Algemeene Scheikunde aan de Hoogeschool van Leuven, proeven aangaande de isomerisatie der $\beta\gamma$ onverzadigde nitrilen in $\alpha\beta$ onverzadigde.

Alhoewel de rechtstreeksche isomerisatie niet kon toegepast, toch hebben wij kunnen overgaan van de vinyl-ethylalkohol tot de krotylalkohol door vastlegging en wederafsplitsing van chloorwaterstofzuur. Vinyl-ethylalkohol werd bekomen volgens de gegevens van PARISELLE (2) n. l. door de inwerking van magnesium en allylbromide op trioxymethyleen. Zooals trouwens Pariselle het aanduidt wordt er in deze reactie diallyl gevormd alsook de formal van de allylcarbinol. Uit deze laatste kan men gemakkelijk de alkohol herwinnen door eene behandeling met methanol in tegenwoor-

(1) Het produkt bekomen door CHARON (*Ann. Ch. et Phys.*, VII, **17**, 197) is zeer waarschijnlijk door butylalkohol verontreinigd.

HESS en WUSTROW (*Ann.* **437**, 256) geven de volgende aanduidingen : Kp. 118° (764) D 20/4=0,8539 *n*D=1,42403 (bij 20°).

CLAISEN en TIETZE (*Ber.* **59**, 2344) Kp. 118-121°.

PREVOST, (*Ann. de Chimie*, X, **10**, 153):

Kp. 117-120° D 18/4=0,8540 *n*D18°=1,4270

Kp. 118-119° D 22/4=0,8461 *n*D22°=1,4253

Kp. 119-120° D 21/4=0,8500 *n*D20°=1,4260.

Al deze frakties langs verschillende wegen uit methyl-vinylcarbinol bekomen.

BAUDRENGHIEN (*Bull. Soc. chim. Belg.*, **31**, 160):

Kp. 121°,5-122° D 20/4=0,8532 *n*D20°=1,42850.

(2) *C. R.*, **148**, 849.

digheid van een weinig chloorwaterstofzuur. Bovendien bekwamen wij nog eene kleine hoeveelheid van eene stof met Kp. 149-150° bij 745 mm. druk en D 20/4=0,8570 en waaraan eene elementair-analyse de formule $C_7H_{12}O$ toekent. Dit laatste is niet kunnen vereenzelvigd worden daar het in zeer geringe mate in de reactie gevormd werd.

Wij bekwamen aldus 250 gr. allylcarbinol waaraan de volgende konstanten toe te schrijven zijn :

Kp. 113°,9 (746 mm.) D 20/4 = 0,84382

$$20^\circ \left\{ \begin{array}{l} n_\alpha = 1{,}42044 \\ n_D = 1{,}42293 \\ n_\beta = 1{,}42988 \end{array} \right.$$

	M_α	M_D	M_β
gevonden	21,631	21,743	22,057
berekend	21,596	21,730	22,027
Δ	0,035	0,013	0,030

Evenmin als aniline en andere aminen heeft phenol in tegenwoordigheid van natriumphenolaat isomerisatie veroorzaakt in de voorwaarden waarin zij de overeenkomstige nitrilen omzetten.

Het azijnzure ester verkregen door de inwerking van azijnzuuranhydride op de allylcarbinol leverde dezelfde negatieve resultaten op. Ziehier de constanten van het ester :

Kp. 126° (769 mm.) D 20/4 = 0,90412

$$20^\circ \left\{ \begin{array}{l} n_\alpha = 1{,}40618 \\ n_D = 1{,}41053 \\ n_\beta = 1{,}41679 \end{array} \right.$$

	M_α	M_D	M_β
gevonden	30,983	31,276	31,695
berekend	30,912	31,095	31,498
Δ	0,071	0,181	0,197

Inwerking van chloorwaterstofzuur op de vinylethylalkohol

Men verzadigt de carbinol met gedroogd chloorwaterstofgas en warmt daarna gedurende twee uren op het waterbad in gesloten kolf. Het reactieprodukt aan de distillatie onderworpen levert eene uiterst kleine hoeveelheid vluchtige chloorhoudende stof, onoplosbaar in water, Kp. 46° met allylchloride geur. Slechts 5 gr. werden bekomen ten koste van 250 gr. alkohol. Deze stof addeert broom op heftige wijze en het additieprodukt kookt op 200°. De vorming van allylchloride dringt zich op, wat enkel door breking van de koolstofketen kan uitgelegd.

Door distillatie bekomt men verder een produkt kokende rond 120° en voorts als hoofdbestanddeel eene vloeistof met Kp. rond 170° welke zich een weinig ontbindt door verlies aan chloorwaterstof. Het distilleert behoorlijk bij 67-68° onder een druk van 15 mm. Een chloorbepaling duidt

32,55 % van dit element aan, dan wanneer de theoretische hoeveelheid 32,73 % is berekend volgens het additieprodukt van HCl aan de allylcarbinol.

Ziehier de constanten van dit chloorhydrine :

Kp. 67-68° (15 mm.) D 20/4 = 1,06218

$$20^\circ \left\{ \begin{array}{l} n_\alpha = 1,44233 \\ n_D = 1,44464 \\ n_\beta = 1,45046 \end{array} \right.$$

	M_α	M_D	M_β
gevonden	27,064	27,186	27,495
berekend	26,935	27,064	27,361
Δ	0,129	0,122	0,134

De samenstelling van dit produkt laat zich gemakkelijk afleiden uit de volgende gegevens :

a) door afsplitsing van chloorwaterstofzuur bekomt men krotylalkohol; deze reactie zal verder beschreven worden ;

b) Men bekomt hetzelfde chloorhydrine door de inwerking van gedroogd chloorwaterstofgas onder druk op het 1-3 dioxybutaan.

Dit laatste bekomen door reductie van de aldol met aluminium-amalgama [1]. Het aldus verkregen produkt levert konstanten die practisch overeenstemmen met die van het chloorhydrine hooger gevormd. Ziehier :

Kp. 73° bij 20 mm. D 20/4 = 1,06255

$$20^\circ \left\{ \begin{array}{l} n_\alpha = 1,44223 \\ n_D = 1,44484 \\ n_\beta = 1,45046 \end{array} \right.$$

	M_α	M_D	M_β
gevonden	27,049	27,188	27,484
berekend	26,935	27,064	27,361
Δ	0,114	0,124	0,123

Wanneer men het chloorhydrine langzaam distilleert bij gewone atmospherische druk, is er eene lichte ontbinding te bespeuren waardoor HCl ontwijkt en een stof gevormd wordt die rond 120° kookt : de Krotylalkohol.

Om die ontbinding te bespoedigen werd het chloorhydrine behandeld met eene equimoleculaire hoeveelheid chinoline.

Het rendement aan krotylalkohol bedraagt slechts 25 % ongeveer, terwijl chinoline zich in eene andere base vervormt die niet vereenzelvigd is kunnen worden. Na eene voorafgaande droging op baryumoxyde en na een dertigtal rectificaties waarvan de laatste denzelfden gang boden, bekwamen we de volgende verdeeling onder een druk van 755 mm.

115 — 117°	1 gr.
117 — 118°	1,9 »
118 — 119°	2,1 »
119 — 120°	2,5 »
120 — 121°	4,5 »
121 — 122°	0,6 »

(1) *Monatshefte*, **22**, 63.

Eene verbranding gedaan op het maximum 120-121° geeft C % = 66,63 H % = 11,19 dan wanneer de berekende waarden 66,66 en 11,11 zijn. Aan dit deel worden de volgende konstanten toegeschreven :

Kp. 120 - 121° bij 755 mm. D 20/4 = 0,85306

$$20^\circ \begin{cases} n_\alpha = 1{,}42731 \\ n_D = 1{,}42976 \\ n_\beta = 1{,}43682 \end{cases}$$

	M_α	M_D	M_β
gevonden	21,703	21,811	22,125
berekend	21,596	21,730	22,027
Δ	0,107	0,081	0,098

Deze krotylalkohol werd vereenzelvigd onder vorm van zijn phenylurethaan, dat na 5 kristallisaties uit ethylalkohol smelt op 79°,4-80°. Eveneens werd het phenylurethaan gevormd van de porties 118-119° en 121-122°; de gang van de kristallisatie is juist zooals voor die van het maximum : na 5 kristallisaties bekwamen we voor het eerste een smelpunt 79°,3-80° en voor het laatste 79,2-80°.

Uit al die gegevens kunnen we noch tot de afwezigheid noch tot de aanwezigheid van twee isomerische krotylalkoholen besluiten ; immers, eenerzijds zien we dat de distillatie verloopt tusschen twee tamelijk ver van elkaar liggende temperaturen, terwijl anderzijds iedere portie na een zelfde getal kristallisaties hetzelfde phenylurethaan in den zelfden zuiveren toestand geeft.

Het is nochtans niet onmogelijk dat phenylisocyanaat eene isomerisatie zou veroorzaken van de min bestendige varieteit.

Vervolgens hebben we krotylalkohol voorbereid door reductie van krotonaldehyde volgens de methode van Charon.

Benevens 150 gr. alkohol wordt er eene belangrijke hoeveelheid dipropenylglykol gevormd zooals het trouwens wordt aangegeven.

Hierna de rectificatiegang van de alkohol na menigvuldige hernemingen (druk 745 mm.)

118 — 119°	1,6 gr.
119 — 120°	3,9
120 — 120°,4	4,3
120°,4 — 120°,6	3,7
120°,6 — 120°,8	3,9
120°,8 — 121	7,3
121 — 121°,2	10,2
121°,2 — 121°,4	12,3
121°,4 — 121°,6	7,2
121°,6 - 121°,8	10,9
121°,8 — 122°	4,7
122 — 122°,2	5,6
122°,2 — 123°	5,3

Konstanten van verschillende porties :

			M_α
a) Kp. 120°,4—120°,6	20° n_α = 1,42064	gevonden	21,453
	20° n_D = 1,42343	berekend	21,596
D 20/4 = 0,85120	20° n_β = 1,42988	Δ	— 0,143
			M_α
b) Kp. 120°,8—121°,0	20° n_α = 1,42226	gevonden	21,496
	20° n_D = 1,42524	berekend	21,596
D 20/4 = 0,85237	20° n_β = 1,43196	Δ	— 0,100
			M_α
c) Kp. 121°,2—121°,4	20° n_α = 1,42458	gevonden	21,571
	20° n_D = 1,42735	berekend	21,596
D 20/4 = 0,853484	20° n_β = 1,43433	Δ	— 0,025
			M_α
d) Kp. 121°,6—121°,8	20° n_α = 1,42610	gevonden	21,573
	20° n_D = 1,42876	berekend	21,596
D 20/4 = 0,85609	20° n_β = 1,43583	Δ	— 0,023
			M_α
e) Kp. 122°,0—122°,2	20° n_α = 1,42711	gevonden	21,573
	20° n_D = 1,42986	berekend	21,596
D 20/4 = 0,857816	20° n_β = 1,43702	Δ	— 0,023

Het ware nutteloos in een van die porties de aanwezigheid van butylalkohol door eene waterstofbepaling te willen vaststellen. Immers, indien de wet op de mengsels toepasselijk is, en indien men steunt op de dichtheid van krotylalkohol bekomen uit het chloorhydrine en op de dichtheid van butylalkohol, dan komt men tot het besluit dat de portie 120°,4-120°,6 ongeveer 4 % propylcarbinol bevat terwijl de portie 120°,8-121° er nagenoeg 1 % meer zou inhouden.

Anderzijds levert elke fraktie een zelfde phenylurethaan identisch aan dat van de krotylalkohol bekomen uit het chloorhydrine. De zuivering ervan was nochtans moeilijker en voor sommige frakties waren tot tien kristallisaties noodig om het smeltpunt 79-80° te bereiken. De methode van Charon is dus niet toepasselijk ter bereiding van krotylalkohol in zuiveren toestand.

Résumé

L'isomérisation de l'alcool vinyl-éthylique en crotylique par le phénol en présence de phénate sodique ne se fait pas dans les conditions où ce réactif isomérise les nitrils. On peut cependant passer de l'un de ces alcools à l'autre par fixation et élimination successives d'acide chlorhydrique en passant par le stade chlorhydrine que nous avons pu isoler. L'alcool crotylique ainsi obtenu n'a pu être séparé en ses deux isomères géométriques. D'autre part, la réduction de l'aldéhyde crotonique fournit un alcool qui présente des constantes légèrement différentes de celles du carbinol provenant de la chlorhydrine. La réduction fournit donc un alcool crotylique qui est probablement souillé d'alcool butylique.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES DÉRIVÉS CYCLOPROPANIQUES

par Josse HENRY,

Docteur en Sciences

(Laboratoire de Chimie générale de l'Université de Louvain.)

En étudiant les réfractions moléculaires d'un grand nombre d'alcools tertiaires cyclopropaniques, M. Bruylants (¹) a montré que le cycle triméthylénique y possède un incrément réfractométrique très faible dont la valeur moyenne — 0,19 pour Hα et 0,21 pour la raie D — est notablement inférieure à celle qu'admettent Demjanow (²), Ostling (³) et Eisenlohr (⁴).

Il était intéressant dès lors d'examiner au même point de vue une série d'alcools secondaires. Plusieurs d'entre eux il est vrai, ont déjà été décrits par MM. Bruylants (⁵) et Michiels (⁶) mais leurs constantes optiques, comparées à celles des alcools tertiaires semblent montrer que ces corps ne sont pas purs. Leur méthode de préparation par la réduction vive des cétones correspondantes par le sodium et l'alcool n'est pas à l'abri de tout reproche et il ne semble pas impossible à priori que dans cette réaction assez brutale le cycle triméthylénique soit en partie rompu, donnant un mélange d'alcool cyclopropanique et d'alcool saturé à chaîne ouverte ; il serait illusoire de chercher à séparer ces corps par distillation, et d'autre part l'analyse élémentaire est impuissante à en révéler la composition si la proportion d'alcool saturé ne dépasse pas quelques pour cent.

Pour transformer les cétones cyclopropaniques en alcools secondaires je me suis inspiré des travaux effectués il y a quelques années par Stas (⁷) sur l'action réductrice des magnésiens et surtout des magnésiens isopropyliques. Stas a montré en effet que si l'isobutyrone est réduite par le bromure d'isopropyl-magnésium en fournissant comme produit unique, le diisopropyl-carbinol ; la méthyl-isopropyl-cétone et l'éthyl-isopropyl-cétone fournissent, sous l'action du même réactif, des proportions élevées d'alcool secondaire de réduction, à côté de l'alcool tertiaire synthétique.

Je dirai immédiatement que les essais que j'ai faits avec le bromure d'isopropyl-magnésium tant sur l'éthyl-triméthylène-cétone que sur l'esther

(¹) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **36**, 153 (1927).
(²) *Ber.*, **40**, 4398.
(³) *Journ. Chem. Soc.*, **101**, 457 (1912).
(⁴) *Spectrochemie organischer Verbindungen*, 136 (1912).
(⁵) *Bull. Acad. Belg.* (1908).
(⁶) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **24**, 405 (1910).
(⁷) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **34**, 188 et **35**, 379.

de l'acide cyclo-propane carbonique ont échoué et ne m'ont fourni que les alcools tertiaires.

En revanche, le bromure d'isobutyl-magnésium déjà mis en œuvre pour le même but par divers expérimentateurs témoigne vis-à-vis de ces corps de propriétés réductrices plus marquées et j'ai pu obtenir par cette voie un certain nombre de représentants d'alcools secondaires à cycle triméthylénique.

1. — *Action du bromure d'isopropyl-magnésium sur l'éthyl-cyclopropyl-cétone.*

La réaction menée à la manière habituelle, à cette différence qu'on a vers la fin de l'opération distillé une partie d'éther et chauffé quelques heures à reflux, ne m'a fourni que l'alcool tertiaire *l'éthyl-isopropyl-cyclopropyl carbinol.*

$$\begin{matrix} H_2\,C \\ | \\ H_2\,C \end{matrix} \!\!> C\,H - C \begin{matrix} C_2\,H_5 \\ \\ C_3\,H_{7\ iso} \end{matrix}$$
$$O\,H$$

qui n'a pas encore été décrit et dont voici les constantes :

éb. 69°-70° sous 18 mm.
177°-179° 767 mm.

$C_9\,H_{18}\,O$	M=142,14	D 20/4=0,89025	
$n\alpha$=1,44471	n_D=1,45186	$n\beta$=1,45744	$n\gamma$=1,46187

	$M\alpha$	M_D	$M\beta$	M
trouvé	42,879	43,059	43,516	43,902
calculé	42,898	43,087	43,543	43,931
	— 0,019	— 0,028	— 0,027	— 0,029

Dans ce cas-ci, par conséquent, les valeurs trouvées se confondent pratiquement avec les valeurs calculées et comme dans le cas du diéthyl-cyclopropyl-carbinol il n'est pas question d'incrément pour le cycle triméthylénique.

2. — *Action du bromure d'isopropyl-magnésium sur l'esther éthyle diisopropyl-cyclopropyl-carbinol*

La réaction menée à la façon habituelle ne donne que l'alcool tertiaire *le diisopropyl-cyclopropyl-carbinol*

$$\begin{matrix} H_2\,C \\ | \\ H_2\,C \end{matrix} \!\!> CH - \underset{\displaystyle OH}{\overset{}{C}} \begin{matrix} C_3\,H_{7\ iso} \\ \\ C_3\,H_{7\ iso} \end{matrix}$$

corps qui n'a pas encore été décrit et dont voici les constantes :

éb. 76°-77° sous 8 mm.

$C_{10}\,H_{20}\,O$	M=156,16	D 20/4=0,88583
$n\alpha$=1,45238	n_D=1,45457	$n\beta$=1,46022

	$M\alpha$	M_D	$M\beta$
trouvé	47,592	47,791	48,302
calculé	47,496	47,705	48,211
	0,096	0,084	0,091

Encore une fois l'incrément est ici excessivement faible.

3. — *Action du bromure d'isobutyl-magnésium sur la méthyl-cyclo-propyl-cétone.*

Dans cette opération ainsi que dans les suivantes j'ai toujours pris un grand excès de combinaison magnésienne isobutylique (2 1/2 molécules de combinaison pour 1 de cétone) tant pour augmenter l'action réductrice que pour transformer la totalité de la cétone mise en œuvre.

Au cours de la réaction, un gaz s'est dégagé qui s'absorbait dans le brome ; c'est de l'isobutylène caractérisé par la température d'ébullition de son bibromure.

J'ai isolé l'alcool secondaire [1], le méthyl cyclopropyl-carbinol et l'alcool tertiaire, le méthyl-isobutyl-cyclopropyl-carbinol et une petite quantité de diisobutyle, l'hydrocarbure de synthèse. La température d'ébullition du méthyl-cyclo-propyl-carbinol n'étant pas fort éloignée de celle de l'hydrocarbure, j'ai cru bon de le transformer en acétate qui bout environ 17° plus haut. Voici les constantes de cet esther :

éb. 139°,5 – 140°,0 sous 759 mm., D 20/4 = 0,93555, $n_{D\,20} = 1,41622$

	M_D
Trouvé :	34.375
Calculé :	33.980
	0,395

L'alcool obtenu par saponification alcaline de l'acétate, *le méthyl-cyclo-propyl-carbinol* :

$$\begin{matrix} H_2C \\ | \\ H_2C \end{matrix}\!\!>CH - CHOH - CH_3$$

présente les constantes suivantes :

éb. 123°-124° sous 759 mm.

$C_5H_{10}O$ M = 86,08 D 20/4 = 0,88778

$n_{\alpha\,20} = 1,42740$ $n_{\alpha\,20} = 1,42966$ $n_{\alpha\,20} - 0,88778$

	M_α	M_D	M_β
Trouvé	24.915	25.412	25.693
Calculé	24.507	25.030	25.308
	0,408	0.382	0.385

Le méthyl-isobutyl-cyclopropyl carbinol

$$\begin{matrix} H_2C \\ | \\ H_2C \end{matrix}\!\!>CH - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}\!\!<\begin{matrix} CH_3 \\ \\ C_4H_{9\,iso} \end{matrix}$$

a pour constantes :

éb. 174°-175° sous 759 mm.
63°- 64° 12 mm.

$C_9H_{18}O$ M = 142,14 D 20/4 = 0,86958

n_α = 1,44173 n_D = 1,44414 n_β = 1,44887 n_γ = 1,45274

	M_α	M_D	M_β	M_γ
trouvé	43,230	43,436	43,834	44,298
calculé	42,898	43,087	43,543	43,931
	0,332	0,349	0,291	0,367

4. — *Action du bromure d'isobutyl-magnésium sur l'éthyl-cyclo-propyl-cétone.*

On a mis en œuvre 53 gr. d'éthyl-cétone ; 36 gr. de magnésium et la quantité correspondante de bromure d'isobutyle.

On isole 9 gr. de bibromure d'isobutylène.

Après de nombreuses rectifications de l'extrait éthéré on isole trois produits.

100° - 110° : 11 gr.
138° - 139° : 9 gr.
190° - 192° : 34 gr.

La fraction inférieure renferme le diisobutyle, l'hydrocarbure de synthèse : la fraction supérieure est l'alcool tertiaire déjà décrit, l'éthyl-isobutyl-cyclopropyl carbinol, la fraction 138°-139° est l'alcool secondaire *l'éthyl-cyclo-propyl-carbinol*

$$\begin{matrix} H_2C \\ | \\ H_2C \end{matrix} \!\!>\! CH - CHOH - C_2H_5$$

Voici ses constantes :

éb. 138° - 139° sous 755 mm.

$C_6H_{12}O$ M = 100,09 D 20/4 = 0,88310

n_α = 1,43336 n_D = 1,43559 n_β = 1,44111

	M_α	M_D	M_β
trouvé	29,483	29,613	29,937
calculé	29,104	29,233	29,539
	0,379	0,380	0,398

5. — *Action du bromure d'isobutyl-magnésium sur le propyl-cyclo-propyl-cétone.*

Une molécule de propylcétone, deux molécules et demie de combinaison magnésienne ont été mises en œuvre.

20 gr. de bibromure de butylène se sont formés au cours de la réaction. Après 20 tours de rectification voici les produits isolés.

105°-110° sous 761 mm. : 12 gr.
158°,5-159°,5 » 761 mm. : 12 gr.
92°-94° » 24 mm. : 71 gr.

Le produit inférieur est l'hydrocarbure de synthèse le diisobutyle.

Voici les constantes de l'alcool secondaire, *le propyl-cyclo-propyl-carbinol*

$$\begin{matrix} H_2\,C \\ | \\ H_2\,C \end{matrix} > CH - CHOH - C_3\,H_{7n}$$

éb. 158°,5 - 159°,5 sous 761 mm.

$C_7\,H_{14}\,O$	$M = 114{,}11$		$D\ 20/4 = 0{,}86969$
	$n\alpha = 1{,}43649$	$n_D = 1{,}43881$	$n\beta = 1{,}44449$
	$M\alpha$	M_D	$M\beta$
trouvé	34,342	34,502	34,892
calculé	33,701	33,851	34,207
	0,641	0,651	0,685

L'alcool tertiaire, qui distille de 92°-94° sous 24 mm. a déjà été décrit par M. Bruylants, c'est le propyl-isobutyl-cyclopropyl carbinol.

6. — *Action du bromure d'isobutyl-magnésium sur la butyl-cyclo-propyl-cétone.*

Une molécule de cétone et deux molécules et demie de bromure d'isobutyl-magnésium furent mises en réaction. 16 gr. de bibromure de propylène et 9 gr. de diisobutyle furent recueillis à côté de 8 gr. d'alcool secondaire et de 65 gr. d'alcool tertiaire.

J'ai isolé dans cette opération deux alcools qui n'ont pas encore été décrits.

$$\begin{matrix} H_2\,C \\ | \\ H_2\,C \end{matrix} > CH - CHOH - C_4\,H_{9n}$$

dont voici les constantes :

éb. 178°,5 - 179°,5 sous 764 mm.
77° - 78° » 13 mm.

$C_8\,H_{16}\,O$	$M = 128{,}13$		$D\ 20/4 = 0{,}86960$
	$n\alpha = 1{,}44002$	$n_D = 1{,}44233$	$n\beta = 1{,}44797$
	$M\alpha$	M_D	$M\beta$
trouvé	38,854	39,034	39,463
calculé	38,300	38,469	38,875
	0,554	0,565	0,588

et l'alcool tertiaire *le butyl-isobutyl-cyclo-propyl-carbinol* :

$$\begin{matrix} H_2\,C \\ | \\ H_2\,C \end{matrix} > CH - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}} < \begin{matrix} C_4\,H_{9n} \\ C_4\,H_{9\,iso} \end{matrix}$$

Voici ses constantes :

éb. 110° - 111° sous 17 mm.

$C_{12}\,H_{24}\,O$	$M = 184{,}192$		$D\ 20/4 = 0{,}86737$
	$n\alpha = 1{,}44776$	$n_D = 1{,}44986$	$n\beta = 1{,}45564$
	$M\alpha$	M_D	$M\beta$
trouvé	56,821	57,052	57,682
calculé	56,692	56,941	57,547
	0,129	0,111	0,135

7. — *Action du bromure d'isobutyl-magnésium sur l'esther éthylique de l'acide cyclo-propane carbonique.*

Les quantités suivantes ont été mises en œuvre :
1,5 mol. d'esther ; 3 mol. de magnésium ; 4 mol. de bromure.
Voici les résultats de l'opération :
24 gr. d'esther sont revenus non transformés tandis qu'il s'est formé 10 gr. d'hydrocarbure saturé, 19 gr. d'alcool secondaire et 75 gr. d'alcool tertiaire.
Ces deux derniers corps n'ont pas encore été décrits.

L'alcool secondaire est l'*isobutyl-cyclopropyl-carbinol :*

$$\begin{matrix} H_2\,C \\ | \\ H_2\,C \end{matrix} \!\!> CH - CH\,OH - C_4\,H_{9\ \text{iso}}.$$

Il présente les constantes suivantes :

éb. 75°,5 - 74° sous 17 mm.

$C_8\,H_{16}\,O$ M = 128,3 D 20/4 = 0,87095

$n_\alpha = 1{,}43699$ $n_D = 1{,}43931$ $n_\beta = 1{,}44509$

	M_α	M_D	M_β
trouvé	38,543	38,720	39,162
calculé	38,300	38,469	38,875
	0,243	0,251	0,287

L'alcool tertiaire obtenu dans cette réaction est le *diisobutyl-cyclo-propyl-carbinol :*

$$\begin{matrix} H_2\,C \\ | \\ H_2\,C \end{matrix} \!\!> CH - \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}} < \begin{matrix} C_4\,H_{9\ \text{iso}} \\ \\ C_4\,H_{9\ \text{iso}} \end{matrix}$$

éb. 102°,5 - 103 sous 17 mm.

$C_{12}\,H_{24}\,O$ M = 184,92 D 20/4 = 0,86346

$n_\alpha = 1{,}44596$ $n_D = 1{,}44826$ $n_\beta = 1{,}45395$

	M_α	M_D	M_β
trouvé	56,883	57,138	57,764
calculé	56,692	56,941	57,547
	0,191	0,197	0,217

L'examen des données réfractométriques de la série des alcools secondaires cyclopropaniques montre qu'ils ne se comportent pas comme les alcools tertiaires. Ils présentent une différence très marquée entre les valeurs trouvées et les valeurs calculées des réfractions moléculaires. Ces différences

varient sensiblement avec la nature des groupements hydrocarbonés fixés sur le chaînon

$$\begin{array}{l} H_2C \\ \;\;| \\ H_2C \end{array} \!\!>\! CH - CHOH -$$

comme on l'observe à l'examen des chiffres suivants :

	D 20/4	Δ Hα	Δ_D
$C_3H_5 - CHOH - CH_3$	0,88778	0,41	0,41
C_2H_5	0,88310	0,37	0,38
C_3H_7	0,86969	0,64	0,65
C_4H_9	0,86960	0,55	0,56
$C_4H_{9\ iso}$	0,87095	0,24	0,25

Dans la nouvelle série d'alcools tertiaires à chaînon isobutylique, que nous avons complétée, on observe comme dans les séries précédemment décrites (¹) un incrément réfractométrique très faible et un maximum de densité pour le dérivé éthylique.

On trouvera dans le tableau suivant les valeurs des densités de ces alcools tertiaires ainsi que les différences entre les valeurs trouvées et les valeurs calculées des réfractions moléculaires.

	D 20/4	Δ H α	Δ_D
$C_3H_5 - C(OH) <^{C_4H_{9\ iso}}_{CH_3}$	0,86958	0,33	0,34
C_2H_5	0,87255	0,13	0,15
C_3H_7	0,86743	0,16	0,18
C_4H_9	0,86737	0,12	0,14

Le diagramme suivant indique la variation de densité avec le changement du radical hydrocarboné dans le chaînon

$$\begin{array}{l} H_2C \\ \;\;| \\ H_2C \end{array} \!\!>\! CH - \underset{OH}{\underset{|}{C}} <^{C_4H_{9\ iso}}$$

Les densités sont portées en ordonnées et les différents radicaux en abscisses.

8. — En vue de comparer les alcools secondaires obtenus par réduction magnésienne avec ceux que l'on obtient par d'autres méthodes nous avons préparé un échantillon d'alcool secondaire par réduction de la cétone par l'alcool et le sodium.

Nous avons employé 55 gr. d'éthyl-cyclo-propyl-cétone.

(¹) BRUYLANTS, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **36**, 153 (1927).

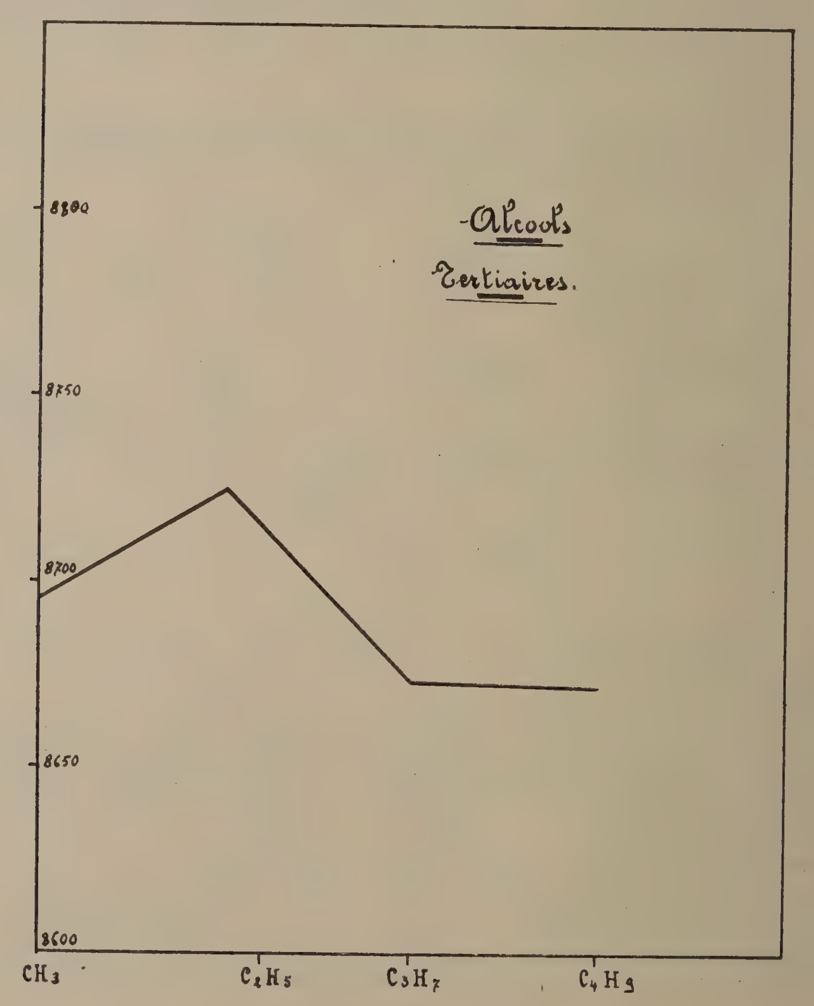
Voici les résultats obtenus :

100°-135°	1,7 gr.	
135°-136°	2 gr.	D 20/4 = 0,87122
136°-137°	9 gr.	= 0,87122
137°-138°	16 gr.	= 0,87378
138°-139°	3 gr.	= 0,87709
Résidu	3 gr.	

D 20/4 de l'éthyl-cyclo-propyl-cétone = 0,89273

D 20/4 de l'éthyl-cyclo-propyl-carbinol = 0,88310

L'examen des densités de ces différentes fractions comparées à la densité de l'éthyl-cyclo-propyl-carbinol préparé par réduction magnésienne de l'éthyl-cétone et à celle de cette cétone qui pourrait éventuellement subsister dans l'extrait éthéré, nous montre que nous avons ici la présence d'un corps de densité notablement moins élevée.



Il y a vraisemblablement formation de l'alcool à chaîne rectiligne C_2H_5 — CHOH — C_3H_{7n} par rupture de la chaîne triméthylénique.

Je me propose de faire cette vérification en préparant les uréthanes.

9. — La réduction de l'éthyl-cyclo-propyl-cétone par le couple zinc-cuivre et l'acide acétique a échoué.

L'opération s'est effectuée sur 50 gr. de cétone pendant une quinzaine de jours.

Voici les résultats de la rectification :

—130°	1,3 gr.	
130°-132°	27 gr.	(cétone non transformée)
Résidu :	1,1 gr.	

10. — Un essai par l'amalgame d'aluminium n'a pas réduit l'éthyl-cyclo-propyl-cétone.

11. — En terminant, je tiens à signaler une réaction curieuse que j'ai observée dans l'action du bromure d'éthyl-magnésium sur l'isobutyl-cyclo-propyl-cétone.

Dans cette réaction on obtient comme produit principal l'éthyl-isobutyl-cyclopropyl-carbinol, corps déjà décrit par M. Bruylants et un produit accessoire qui après une quinzaine de rectifications bout à 137°-139° et présente l'odeur tout à fait caractéristique des alcools secondaires de cette série.

Ses constantes se confondent pratiquement avec celles de l'éthyl-cyclo-propyl-carbinol.

On a en effet D 20/4 = 0,88638

$n_\alpha = 1,43488 \qquad n_D = 1,43770 \qquad n_\beta = 1,44270$

	M_α	M_D	M_β
trouvé	29,460	29,585	29,920
calculé	29,104	29,232	29,539
	0,356	0,354	0,381

Cette réaction est excessivement curieuse puisqu'elle revient en fait à la substitution du radical isobutyle de la cétone, par le radical éthyle du magnésien, suivie de la réduction par le magnésien isobutylique formé.

Nous nous proposons d'examiner si elle peut être réalisée pour d'autres termes de cette série.

DOSAGE DES NITRILES ÉTHYLÉNIQUES

par G. HEIM.

(Laboratoire de Chimie Générale de l'Université de Louvain)

Récemment, j'ai été amené à effectuer la recherche et le dosage des nitriles éthyléniques en β-γ dans leurs isomères α-β.

A cet effet, je me suis d'abord adressé à la méthode de LINSTEAD et MAY (¹) modifiée par KANDIAH et LINSTEAD (²) qui consiste en principe à déterminer un indice d'iode. La vitesse d'addition étant différente dans les deux cas, on observe une différence dans le pourcentage d'iode absorbé.

Les auteurs de la méthode renseignent ;

Nitriles éthyléniques en α-β : environ 3 % d'iode absorbé ;
Nitriles éthyléniques en β-γ : environ 56 % d'iode absorbé.

Vérifiée sur les termes les plus simples et les mieux étudiés de ces séries, les nitriles crotoniques et vinyl-acétique, cette méthode est tombée en défaut ; en effet, voici les résultats obtenus :

Nitrile crotonique cis :	absorbé 1,7 %	(moyenne de 5 dosages) ;
Nitrile crotonique trans :	absorbé 1,4 %	(— 3 —) ;
Nitrile vinyl-acétique :	absorbé 7,0 %	(— 5 —).

*
* *

M. le professeur Bruylants a attiré l'attention sur l'énorme différence d'aptitude réactionnelle des nitriles crotoniques et vinyl-acétique vis-à-vis du brome. C'est en se basant sur cette propriété qu'il m'a demandé de mettre au point une méthode de dosage au brome.

Le problème qui m'était posé était le suivant :

« Dans quelles conditions faut-il se mettre pour que les nitriles oléfiniques en β-γ réagissent avec le brome, alors que leurs isomères non saturés en α-β restent inattaqués, ou presque. »

Différents facteurs étaient à déterminer :

1° La nature et la concentration de la solution de brome ;
2° La nature et la concentration de la solution de nitrile ;
3° La quantité de réactif à ajouter et
4° Le temps de contact.

(¹) *Chem. Soc.*, 1269 (1929).
(²) *Ibid.*, 2139 (1929).

En fait de solution de brome, j'ai successivement essayé : une solution chloroformique, une solution aqueuse exempte de KBr, une solution aqueuse contenant 75 gr. de KBr au litre. Je me suis finalement arrêté à une solution aqueuse environ N/10 contenant 100 gr. de KBr au litre.

Le titre de cette solution est suffisamment fixe pour que l'on puisse effectuer environ cinq dosages successifs sans perte notable de brome.

Comme dissolvant des nitriles, j'ai employé le chloroforme. La concentration en nitrile a varié au cours des différents essais préliminaires, finalement je me suis arrêté à la concentration de 1/40° de mole de nitrile par 100 cc. de solution.

L'étude de la quantité de brome à ajouter a principalement été guidée par le besoin d'avoir une réaction aussi rapide que possible, durant laquelle la saturation des nitriles oléfiniques en α-β soit négligeable, ou presque, vis-à-vis de celle des nitriles oléfiniques en β-γ.

Cette étude, poursuivie avec les nitriles crotoniques et vinyl-acétique, m'a conduit à adopter le mode opératoire suivant :

5 cc. de solution chloroformique de nitrile et le double de la quantité théorique nécessaire de solution de brome environ N/10, sont agités violemment de façon à former une fine émulsion. On ajoute ensuite une solution de KI à 10 % et l'iode déplacé est titré par $Na_2S_2O_3$ N/10. Un calcul simple donne le pourcentage de brome absorbé.

Avant de citer les résultats, quelques remarques s'imposent :

1° La solution de brome doit toujours contenir 100 gr. de KBr au litre. Une autre concentration, donnant une valeur différente au coefficient de partage du brome entre l'eau et le chloroforme, peut fausser les résultats.

2° Il en est de même pour la concentration en nitrile : elle a toujours été de 1/40° de mole aux 100 cc.

Seuls les résultats obtenus dans des conditions identiques sont comparables.

3° L'agitation du mélange brome-nitrile ne doit pas être prolongée. Une énergique agitation d'une dizaine de secondes suffit.

En fait de nitrile pur non saturé en β-γ, je n'ai eu à ma disposition que le nitrile vinyl-acétique. En employant le mode opératoire précité, les absorptions de brome sont les suivantes :

	% Br absorbés			Moyenne
Nitrile vinyl-acétique :	99,6	100	100,4	99,8 %
	99,6	99,2	100	

L'absorption est donc pratiquement quantitative.

Les nitriles éthyléniques en α-β se comportent tout autrement. Les résultats obtenus avec différents termes, dont la plupart ont obligeamment été mis à ma disposition par M. Bruylants, se trouvent résumés dans les tableaux suivants :

Nitriles crotoniques et homologues

	Isomères cis.		Isomères trans	
	% Br absorbés	Moyenne	% Br absorbés	Moyenne
$CN-CH=CH-CH_3$	1,2 — 0,8 — 0,8	0,9 %	2,4 — 2,0 — 2,0	2,1 %
$CN-C(CH_3)=CH-CH_3$	0,4 0,8	0,6 %	1,2 1,2	1,2 %
$CN-C(CH_3)=CH-C_2H_5$	2,0 1,6	1,8 %	— —	—

Homologues du nitrile acrylique

	$CN-C(CH_3)=CH_2$	$CN-C(C_2H_5)=CH_2$	$CN-C(C_3H_7)=CH_2$
% Br absorbés	1,2 1,2	1,6 1,2	3,2 2,8
Moyenne	1,2 %	1.4 %	3,0 %

Les résultats obtenus avec les nitriles oléfiniques en α-β s'opposent donc nettement à ceux trouvés pour les dérivés β-γ.

Le nitrile β méthyl crotonique a également été analysé : l'échantillon primitif que j'avais à ma disposition titrait 8,4 et 8,8, moyenne 8,6 % de brome. Cette absorption anormale m'a conduit à isomérer ce produit par le phénate sodique, après quoi l'indice de brome est tombé à 1,2 %.

Afin de vérifier si la méthode est susceptible de déterminer avec une approximation suffisante la teneur en dérivé β-γ d'un nitrile non saturé en α-β et inversement, j'ai dosé des mélanges artificiels des nitriles crotoniques et vinyl-acétique.

Les résultats sont résumés ci-dessous :

N. crotonique cis	N. vinyl-acétique	% Br absorbés	Prévu	Différence
75 %	25 %	27,0 27,0	25,6 %	+ 1,4 %
50 %	50 %	50,8 50,8	50,4 %	+ 0,4 %
25 %	75 %	75,6 76,0	75,5 %	+ 0,1 + 0,5 %

N. croton. trans	N. vinyl-acétique	% Br absorbés	Prévu	Différence
75 %	25 %	27,0 27,0	26,4 %	+ 0,6 %
50 %	50 %	50,6 51,4	50,9 %	+ 0,5 — 0,3 %
25 %	75 %	75,8 75,0	75,4 %	+ 0,4 — 0,4 %

L'erreur moyenne de l'ensemble de ces dosages est de 0,5 %. On peut donc admettre, je le pense, que la méthode exposée résout le problème du dosage des nitriles éthyléniques.

Il est intéressant de remarquer que les nitriles crotoniques absorbent moins de brome que d'iode tandis que l'inverse se produit pour le nitrile vinyl-acétique.

Il est de même remarquable que dans les cas examinés, la variété cis des nitriles oléfiniques en α-β est moins sensible à l'action du brome que la variété trans. Les influences constitutives se font donc nettement sentir.

La méthode dont je viens de vous entretenir a déjà contribué à l'étude de différents produits de déshydratation de cyanhydrines obtenus récemment au Laboratoire de chimie générale de l'Université de Louvain. Le cadre restreint imposé à nos communications m'empêche d'exposer ici les renseignements obtenus.

SOLUBILITÉ DU PHOSPHATE BISMUTHIQUE

par M. HUYBRECHTS,
Professeur à l'Université de Liége
et M. MILLIAU [1]
Docteur en Sciences

En 1860, CHANCEL [2] a proposé de doser et de séparer l'acide phosphorique par « un procédé fondé sur l'entière insolubilité du phosphate de bismuth dans les liqueurs qui contiennent de l'acide nitrique libre même en proportion notable ».

Le procédé est simple : la solution de phosphate, neutre ou ne contenant qu'un faible excès d'acide nitrique libre et exempte de chlorure et de sulfate ainsi que de sels de métaux présentant une tendance marquée à l'hydrolyse, est additionnée à une température voisine de 100° C de nitrate bismuthique, en solution modérément acide également.

Le phosphate bismuthique blanc cristallin se précipite ; après dépôt complet, il est recueilli sur filtre, lavé à l'eau très légèrement acidulée, calciné et pesé.

Ce procédé de dosage des phosphates ne donne, en réalité, pas de résultats satisfaisants, tandis que la même réaction appliquée au dosage du bismuth a eu plus de succès.

Cette différence dans la valeur des deux dosages tient à cette circonstance que l'insolubilité du phosphate bismuthique dans l'acide nitrique n'est pas aussi entière que l'auteur du procédé le croyait.

Quand il s'agit de doser le bismuth dans une solution de sel dérivé de ce métal, l'acidité doit être suffisante pour que, du fait de la dilution occasionnée par l'addition du réactif, il ne se produise pas de précipité de sels basiques.

L'augmentation de volume du mélange résultant de l'addition de la solution de phosphate alcalin de sel de bismuth a pour effet de diminuer la concentration initiale en acide nitrique.

En outre, l'excès de phosphate alcalin agit comme tampon sur l'acide et il tend par sa masse, à annuler la solubilité du phosphate de bismuth.

Telles sont apparemment les raisons pour lesquelles le dosage du bismuth par pesée à l'état de phosphate donne des résultats satisfaisants.

[1] Ce travail a été fait en 1925-1926. Les expériences ont été effectuées par M. Milliau.

[2] CHANCEL, *C.R.* **50**, 417 (1860) et **51**, 882 (1860).

Dans le dosage des phosphates par les sels de bismuth, les conditions ne sont plus les mêmes que dans le cas précédent.

En effet, à la solution de phosphate à doser, on ajoute un excès de sel de bismuth ; en pratique, ce sel est toujours du nitrate dont la solution est nécessairement acide. On est amené à employer un excès de réactif pour obtenir une précipitation complète. Mais en ajoutant cet excès de réactif, on introduit en même temps dans le mélange un excès d'acide.

Pour que la précipitation fût quantitative, il faudrait que l'action de l'acide nitrique, qui tend à dissoudre le phosphate de bismuth, pût être compensée par celle du nitrate bismuthique qui s'oppose à la dissolution du précipité.

Les chimistes qui ont essayé d'opérer en milieu très faiblement acide, ont obtenu des précipités contenant des composés basiques; les résultats, dans ces conditions, sont trop élevés.

Dans le présent travail, nous nous sommes proposé de rechercher, par des déterminations de solubilité du phosphate de bismuth dans l'eau et dans des solutions acides contenant ou non un phosphate alcalin, les conditions les plus favorables à l'exactitude du dosage du bismuth par pesée à l'état de phosphate ; elles devaient nous montrer en même temps s'il était possible de réaliser une séparation et un dosage exacts de l'acide phosphorique par les sels de bismuth.

*
* *

Pour préparer le phosphate de bismuth dont nous avions besoin, nous sommes partis de nitrate de bismuth et nous avons vérifié sa pureté.

Nous en avons préparé une solution *acide* à un peu plus de 2 % (environ 1/7,5 N) en $Bi(NO_3)_3 . 5H_2O$ (1). Elle nous a d'abord servi à étudier la valeur des procédés de dosage du métal par pesée notamment à l'état de phosphate et à l'état d'oxyde. La concentration de l'acide nitrique dans cette solution était environ 0,4 N.

Pour la précipitation à l'état de phosphate, nous avons eu recours à une solution à 2,5 % de phosphate bisodique ($Na_2HPO_4 . 12 H_2O$) (environ 1/5 N) (2).

La précipitation avait lieu à une température voisine de l'ébullition ; le précipité était lavé avec une solution de nitrate ammonique à 3 % acidulée par quelques gouttes d'acide nitrique. Après dessiccation, le précipité était calciné et pesé.

Pour 50 cc. de solution de nitrate de bismuth, nous employions 70 cc. de solution de phosphate sodique.

Nous nous sommes assurés que le filtrat séparé du précipité de phosphate bismuthique ne donnait pas de précipité de sulfure de bismuth par l'acide sulfhydrique.

(1) Le poids normal de ce sel = 161,70.

(2) Le poids normal du phosphate sodique cristallisé est de 119,40.

Le dosage au moyen du carbonate ammonique a été effectué suivant le mode opératoire décrit par L.-L. de Koninck [1].

Les deux procédés nous ont donné des résultats tout à fait concordants.

Pour une prise d'essai, nous avons obtenu 0,6739 gr. de phosphate de bismuth et pour une autre 0,5160 gr. d'oxyde ; ce dernier poids correspond à celui du phosphate.

Afin de nous assurer que le précipité de phosphate répondait à la formule $BiPO_4$, nous y avons dosé l'acide phosphorique combiné et le bismuth.

Pour le dosage de l'acide phosphorique, nous avons passé par la précipitation en milieu nitrique au moyen de la liqueur molybdique, la transformation du phosphomolybdate ammonique en phosphate ammoniacomagnésique et finalement en pyrophosphate magnésique.

Le résultat, calculé en phosphore a été trouvé égal à 10,18 %, alors que la teneur réelle est de 10,24 %; la concordance est satisfaisante si on tient compte de ce que ce mode de dosage du phosphore fournit des résultats un peu trop faibles.

Le dosage du bismuth dans le phosphate a été effectué par précipitation à l'état de sulfure par l'acide sulfhydrique en solution nitrique étendue. Le sulfure après dépôt au bain-marie était recueilli en creuset de Gooch taré, séché à l'étuve dans un courant d'azote pendant une heure à la température de 270-280° C. et pesé après refroidissement sous exsiccateur.

Nous avons trouvé 68,66 % de bismuth dans le phosphate alors qu'il en contient théoriquement 68,64 %.

Le précipité de sulfure, analysé après pesée, a été trouvé exempt de fer [2] et de phosphate.

Le phosphate de bismuth obtenu dans les conditions décrites plus haut répondait donc bien à la composition du sel normal, $Bi P O_4$.

Nous avons alors préparé du phosphate de bismuth en quantité suffisante pour les déterminations de solubilité, en nous tenant aux conditions de concentrations et d'acidité adoptées pour l'analyse et nous avons vérifié par un dosage de phosphore que la teneur de cet élément était bien celle du phosphate de bismuth.

Dosage colorimétrique du bismuth

En vue du dosage de très petites quantités de ce métal, nous avons déterminé la limite de sensibilité du procédé de dosage colorimétrique du bismuth par l'iodure plombique.

Nous avons préparé, par dilution d'une solution plus concentrée, une solution acide de phosphate bismuthique contenant 0,0015 gr. de ce sel par litre, une quantité d'acide nitrique correspondant à 50 cc. d'acide

(1) *Traité de Chimie analytique minérale*, 3e édit. ; Liége, 1913, tome 3, p. 67.

(2) Des traces de fer auraient pu être introduites par le courant d'acide sulfhydrique si celui-ci, malgré son passage dans de l'eau et du sulfure sodique, n'avait pas été lavé suffisamment.

nitrique 14 N et une quantité d'eau suffisante pour faire un litre. La concentration en bismuth de cette solution est égale à 0,000.001 gramme par litre.

Nous disposions également, pour ces dosages, d'une solution d'acide nitrique contenant la même quantité d'acide que la précédente, d'une solution de nitrate plombique à 96 gr. de ce sel par litre et d'une solution d'iodure potassique à 8,75 gr. par litre (1).

Le premier terme de l'échelle exempt de bismuth a été établi de la façon suivante :

20 cc. de la solution d'acide nitrique ;
100 cc. d'eau ;
5 cc. de la solution plombique et
25 cc. de la solution d'iodure potassique.

La composition du deuxième terme était la même que celle du premier à ceci près que les 20 cc. d'acide nitrique étaient remplacés par 1 cc. de solution de phosphate de bismuth et 19 cc. d'acide nitrique.

Dans le troisième, il y avait 2 cc. de solution de phosphate et 18 cc. d'acide nitrique, etc.

D'autre part, 100 cc. de la solution contenant le bismuth à doser étaient additionnés de 20 cc. d'acide nitrique, de 5 cc. de la solution plombique et de 25 cc. de la solution d'iodure.

Les mélanges étaient effectués dans des ballons à fond plat de 300 cc. environ de capacité et rendus homogènes par agitation.

Nous n'avons pu utiliser ce mode de dosage du bismuth que dans les solutions aqueuses de phosphate.

Quand on ajoute des quantités croissantes de phosphate alcalin à la solution bismuthique, il y a précipitation partielle de phosphate bismuthique et le procédé cesse d'être applicable.

Dans ces mélanges, il a fallu nous borner à doser le métal par pesée à l'état de sulfure, ce qui est moins sensible.

Déterminations de solubilité

Les déterminations de solubilité ont été faites par agitation de phosphate de bismuth : 1° avec de l'eau ; 2° avec de l'acide nitrique de concentrations croissantes ; 3° avec de l'acide nitrique un peu plus concentré que 0,4 N en présence de quantités croissantes de phosphate bisodique.

Les mélanges étaient introduits dans des flacons de 200 cc. bouchés à l'émeri puis agités dans un thermostat aux températures constantes de 19°,1 et de 30°,8 ± 0°,1.

Pour que l'équilibre pût s'établir en une journée d'agitation vive, les mélanges étaient préalablement chauffés pendant une heure à une température nettement supérieure à celle du thermostat et agités de temps à autre.

A la fin de la journée, l'agitation au thermostat étant terminée, les

(1) Ces concentrations sont celles adoptées par l'auteur du procédé : T C. Cloud, *Journal of the Society of Chem. Ind.*, **23**, 523 (1904).

solutions étaient filtrées sous pression obtenue avec de l'air chauffé également dans le thermostat.

Le liquide filtré était recueilli dans des vases tarés et pesé à une approximation de 1 à 2 centigrammes. On procédait aux dosages du bismuth sur ces prises d'essai.

Détermination de la solubilité dans l'acide nitrique

De l'acide nitrique exempt de vapeurs rutilantes a été dilué avec de l'eau dans une mesure telle qu'il en est résulté un acide un peu plus que 7 N.

De cette première dilution, nous avons prélevé des volumes mesurés que nous avons étendus de 2, 3, 4, 6, 12 et 59 volumes d'eau, de manière que l'acidité de ces solutions étaient respectivement celles d'acides 2,46 ; 1,85 ; 1,48 ; 1,06 ; 0,57 et 0,123 N.

C'est dans ces acides que nous avons déterminé la solubilité du phosphate de bismuth à 19°,1 et 30°,8.

Trois essais étaient conduits parallèlement.

Pour les essais de solubilité dans l'eau, le dosage du bismuth a été effectué par colorimétrie ; pour les essais de solubilité dans l'acide nitrique, le dosage a été fait par pesée du sulfure.

Le tableau suivant réunit les résultats de ces mesures :

Concentration de l'acide nitrique	$BiPO_4$ dissous dans 1000 gr. de solution	
	à 19°,1 C.	à 30°,8 C.
0,000	0,000 01 gr.	0,000 01 gr.
0,123 N	0,02 —	0,03 —
0,57 N	0,11 —	0,13 —
1,06 N	0,25 —	0,28 —
1,48 N	0,39 —	0,43 —
1,85 N	0,55 —	0,61 —
2,46 N	1,01 —	1,19 —

Entre la solubilité dans l'eau à 19°,1 et 30°,8, nous n'avons pas pu apprécier de différence. Si la valeur trouvée (1 centième de milligr.) est exacte, le produit de solubilité est de l'ordre de 2.10^{-15}.

En effet, 0,000.01 gr. de bismuth représente 0.000.000.048 atome-gramme de bismuth ; le produit de solubilité correspondant = $(48.10^{-9})^2$.

A l'examen des valeurs numériques reproduites au tableau, on voit que la solubilité du phosphate de bismuth augmente rapidement avec la concentration de l'acide nitrique ; cette solubilité est un peu plus élevée à 30° qu'à 19°.

Ce travail était commencé en 1925 lorsque A. Keshan [1] a publié les résultats de déterminations de solubilité du phosphate de bismuth dans

[1] A. Keshan, *Z/t anal. Ch.*, **65**, 346 (1924-1925).

l'acide nitrique dilué. Le mode opératoire de ce chimiste et les résultats obtenus sont très différents des nôtres.

Solubilité du phosphate de bismuth dans des solutions de phosphate bisodique ($Na_2HPO_4 . 12 H_2O$)

Nous avons préparé une solution de ce sel à 10 % environ, sa concentration déterminée exactement s'est trouvée être égale à 107 gr. de sel cristallisé par litre.

Pour étudier l'influence de l'addition du phosphate alcalin sur la solubilité du phosphate de bismuth, nous avons dû partir d'une solution acide de ce dernier et nous avons choisi une acidité correspondant à celle qu'on réalise habituellement dans un dosage de bismuth, c'est-à-dire une acidité comprise entre les valeurs 1/3 et 1/2 N.

En diluant notre acide nitrique (un peu plus que 7 N, v. plus haut) de seize fois son volume d'eau, il en est résulté un acide 0,434 N.

Des prises d'essai de phosphate ont été agitées avec des mélanges constitués dans les proportions suivantes :

1° 1000 cc. d'acide nitrique 0,434 N et 50 cc. d'eau ;

2° 1000 cc. du même acide, 40 cc. d'eau et 10 cc. de solution de phosphate sodique ;

3° 1000 cc. d'acide, 30 cc. d'eau et 20 cc. de solution de phosphate, et ainsi de suite jusqu'à remplacement des 50 cc. d'eau par 50 cc. de solution de phosphate.

Du fait de la dilution provoquée par l'addition d'eau et de phosphate, l'acidité des mélanges est tombée de la valeur 0,434 N à 0,413 N ; les concentrations du phosphate sodique pour 1000 cc. de solution étaient du fait de la dilution, dans les cinq derniers mélanges de 1,018 gr. ; 2,037 gr. ; 3,055 gr. ; 4,075 gr. et 5.092 gr.

Les résultats des déterminations sont réunis dans le tableau suivant :

Acidité	Poids de $Na_2HPO_4 . 12 H_2O$ par litre de solution	Poids de phosphate de bismuth dissous dans 1000 gr. de solution	
		à 19°,1	à 30°,8
0,413 N	0,000 gr.	0,075 gr.	0,10 gr.
—	1,018 —	0,03 —	0,04 —
—	2,037 —	0,02 —	0,02 —
—	3,055 —	traces	traces
—	4,075 —	0,00	0,00

D'après ce tableau, on se rend compte de la chute rapide de la solubilité du phosphate bismuthique, dans l'acide nitrique étendu, par l'addition d'un phosphate alcalin ; elle devient pratiquement nulle pour une addition de

phosphate bisodique comprise entre 0,3 et 0,4 gr. pour cent centimètres cubes.

La solubilité reste un peu plus élevée à 30° qu'à 19° C.

Résumé et conclusions

Des déterminations de la solubilité du phosphate bismuthique à 19°1 et à 30°,8 C. ont été faites dans de l'eau, dans de l'acide nitrique à diverses concentrations ainsi que dans une solution acide 0,413 N d'acide nitrique additionnée de petites quantités de phosphate bisodique.

Les résultats obtenus montrent que le phosphate bismuthique se dissout de façon très nette dans l'acide nitrique et rendent compte de l'impossibilité de faire un dosage exact d'acide phosphorique par précipitation au moyen du nitrate bismuthique.

En revanche, la diminution de la solubilité du phosphate bismuthique dans l'acide nitrique 0,413 N par l'addition de petites quantités de phosphate bisodique explique fort bien que le dosage du bismuth par précipitation au moyen d'un phosphate alcalin donne des résultats très satisfaisants.

Les conditions les plus favorables sont, pour une acidité du mélange ayant une valeur de 0,4 N, un excès de phosphate alcalin de 0,4 gr. environ pour cent centimètres cubles de volume total.

Bibliographie

G. Chancel, *C.R.*, **50**, 417 (1860) ; et **51**, 882 (1860).

K. Kraut et Holzberger, *Zft anal. Chem.*, **4**, 121 (1865).

R. Fresenius, C. Neubauer et E. Lück, *Zft anal. Ch.*, **10**, 133 (1871).

H. Salkowski, *Jl. prakt. Chem.*, **104**, 172 (1868) ; *Ber.*, **38**, 3943 (1905).

B. Sendhoff, *Inaug. Dissert. Munster i/W.*, 1904.

I. C. Galletti et G. G. Henderson, *Analyst.*, **34**, 389 (1909).

A. Stähler et W. Scharfenberg, *Ber.*, **38**, 3862 (1905).

L. Moser, *Zft anal. Chem.*, **45**, 19 (1906).

W. R. Schöller et E. F. Waterhouse, *Analyst*, **45**, 435 (1920).

G. Luff, *Chem. Ztg.*, **47**, 133 (1923) et **48**, 61 (1924).

L. Moser et E. Neusser, *Chem.*, *Ztg.*, **47**, 541 et581 (1923).

A. Keshan, *Zft.*, *anal. Chem.*, **65**, 346 (1924-1925) et **67**, 81 (1925-1926).

K. Birnbaum et C. Chojnacki, *Ztg. anal. Chem.*, **9**, 203 (1870).

NOTICE DOCUMENTAIRE SUR LE GENRE D'ACTIVITÉ DE NOTRE LABORATOIRE DE RECHERCHES

par L. MICHIELS,

Professeur à l'Université de Louvain

La présente communication a pour objet de donner en peu de lignes un aperçu des recherches effectuées depuis quelques années et poursuivies à l'heure actuelle au laboratoire placé sous notre direction à l'Université de Louvain. Ces recherches se rattachent à deux branches de notre enseignement : la chimie analytique et la pharmacognosie.

*
* *

En chimie analytique, nos élèves A. de Meeus (1) et N. Vensovitch (2) se sont livrés à des recherches concernant l'analyse électrolytique quantitative des métaux. Ce genre de recherches est actuellement continué par Tougarinoff qui publiera incessamment ses résultats.

Les recherches de Vensovitch et Tougarinoff confirment ce qui avait d'ailleurs été déjà affirmé par différents auteurs à savoir qu'il est possible d'abréger pour un certain nombre de métaux la durée de l'électrolyse sensiblement dans la même mesure qu'à l'aide de l'agitation mécanique de l'électrolyte tout en se dispensant de cette dernière.

Les recherches de Vensovitch et Tougarinoff mènent donc au développement des méthodes de dosage électrolytique rapide et de séparations quantitatives pour un certain nombre de métaux, et ce, sans agitation mécanique de l'électrolyte.

Toujours en chimie analytique mais dans un autre ordre d'idées, nous avons demandé à Tougarinoff de procéder à une étude critique des possibilités d'emploi des réactifs organiques dans l'analyse qualitative minérale ; cette étude qui sera livrée sous peu à la publication montre que la tendance actuelle à généraliser l'emploi des réactifs organiques dans l'analyse qualitative minérale se justifie et pourrait bien entraîner une transformation profonde des méthodes classiques de l'analyse minérale qualitative.

*
* *

En ce qui concerne nos recherches de pharmacognosie ou plutôt de pharmacochimie, A. Castille publie la première étude entreprise en ce domaine à notre laboratoire. L'acide aristolochique, corps azoté très toxique

avait déjà été trouvé dans plusieurs variétés d'aristoloches. Castille l'isole à l'état cristallisé de l'*Aristolochia Sipho* et apporte une contribution aux connaissances qu'on avait de ce produit ([3]).

En 1925, avec P. Leroux ([4]), nous trouvons des alcaloïdes dans le *Mitragyne macrophylla*, un végétal du Congo belge, et nous en isolons un alcaloïde cristallisé dont nous étudions les principales réactions; nous y trouvons aussi des alcaloïdes amorphes.

En 1926, avec E. Clinquart ([5]), nous étudions les réactions d'un alcaloïde l'*Yajéine* extrait de la liane Yagé. Cet alcaloïde venait d'être bien étudié pour la première fois dans cette liane par Barriga Villalba à Bogota (1925).

A la même époque, avec P. Denis ([6]), nous trouvions que la liane *Yocco* ainsi que ses feuilles, identifiées par les soins de M. De Wildeman comme un *Paullinia*, contenaient de la caféine.

Cette liane *Yocco* ainsi que la liane *Yagé* rapportées de Colombie par F. Claes, arrivaient ainsi pour la première fois en Belgique et vraisemblablement pour la première fois dans les laboratoires de chimie du continent.

Un peu plus tard, nous obtenions pour en faire l'analyse, pour en retirer des principes chimiques et étudier ces derniers, des graines de *Picralima klaineana* et ce, grâce à l'initiative du Frère J. Gillet de Kisantu. E Clinquart ([7]) (1926) y signale pour la première fois un alcaloïde cristallisé et des alcaloïdes amorphes; il décrit un certain nombre de leurs propriétés et réactions.

A la même date, le Frère Gillet nous avait envoyé du Congo belge une racine jaune, identifiée par notre collègue Robyns comme appartenant au *Cryptolepis triangularis*.

Clinquart ([8]) peut y signaler la présence d'une matière, véritable alca loïde dont les sels sont jaunes et la base violette. Il établit pour la base la formule $C_{14}H_{17}N_2O_4$, en fixe certaines réactions et propriétés. Le nom de cryptolépine lui est donné.

La cryptolépine continue actuellement à faire l'objet d'études de la part de notre élève P. Delvaux. Ce dernier a déjà pu constater que la cryptolépine ne renferme aucun groupement OCH_3 ni OC_2H_5 que, cristallisée de l'alcool anhydre, elle fond à 194-195° (bloc de Maquenne), mais que de l'alcool hydraté elle cristallise en retenant une certaine quantité d'eau.

D'autres matériaux végétaux originaires du Congo belge ont encore été examinés en notre laboratoire, notamment les gousses de *Swartzia Madagascarensis* (matériel dû à l'obligeance de M. De Wildeman) et dans lesquelles notre élève Degand ([9]) signale la présence de composés anthraquinoniques.

Nous croyons ainsi sans pouvoir être complets et sans avoir pu citer tous ceux qui furent nos collaborateurs, ce qui nous mènerait à sortir des traits essentiels, avoir rendu compte au Congrès du genre d'activité principale de notre laboratoire de recherches et de l'état actuel des questions qui y sont étudiées.

BIBLIOGRAPHIE

(1) A. DE MEEUS, *Bull. Soc. Chim. de Belg.*, 302-323 (1923).

(2) N.VENSOVITCH, *Bull. Soc. Chim. de Belg.*, 353-376 (1928).

(3) A. CASTILLE, *Bull. Acad. Roy. de Méd. de Belg. ; Journ. de Pharm. de Belg.* (1922).

(4) L. MICHIELS et P. LEROUX, *Bull. Acad. Roy. de Méd. de Belg.* (1925).

(5) L. MICHIELS et E. CLINQUART, *Bull. Acad. Roy. de Méd. de Belg.*, 19-29 (1926).

(6) L. MICHIELS et P. DENIS, *Bull. Acad. Roy. de Méd. de Belg.*, 424-428 (1926).

(7) E. CLINQUART, *Bull. Acad. Roy. Méd. Belg.* (1926); *Journ. de Pharm. de Bel.* (1926).

(8) E. CLINQUART, *Bull. Acad. Roy. Méd. Belg.* (1929).

(9) P. DEGAND, *Journ. de Pharm. de Belg.* (1928).

OVERZICHT DER WERKEN GEDAAN OP HET LABORATORIUM VOOR ALGEMEENE SCHEIKUNDE DER GENTSCHE UNIVERSITEIT

door R. GOUBAU,

Hoogleeraar

Het inrichten van het laboratorium voor algemeene Scheikunde der Vlaamsche afdeeling der Gentsche Hoogeschool in uitvoering der taalwet van 1923 is nog geen lang verleden feit, zoodat tot nu toe het grootste deel der bedrijvigheid van zijn personeel voor de organisatie zelf verbruikt werd en dit nog wel in zeer gebrekkige omstandigheden, voor hetgeen lokalen en toelagen betreft. Een enkel student tot hiertoe heeft er zijne studiën voltrokken terwijl er thans vier studenten de colleges volgen, op het laboratorium werken, en hun proefschrift voorbereiden.

Ten einde aan de studenten de gelegenheid te geven velerlei technische methodes te bemachtigen of ten minste om ze in voeling te brengen met onderzoekingen van verscheiden aard, hebben wij op het laboratorium opzoekingen ondernomen in de meest verscheidene gebieden der anorganische en organische scheikunde. Zoo hoopen wij eene te eenzijdige ontwikkeling onzer studenten te vermijden.

Omdat wij overtuigd waren van de onschatbare diensten die de microchemische methodes in het wetenschappelijk onderzoek kunnen bewijzen, hebben wij de mikromethodiek volgens Pregl, Emich enz. op het laboratorium ingevoerd, zoodat we thans bijna uitsluitend deze methodes gebruiken ter oplossing van analytische vragen die tijdens het onderzoek in de algemeene scheikunde vaak voorkomen.

Zoo zijn we er toe gekomen deze methodes te wijzigen met de bedoeling ze vereenigbaar te maken met de eischen van een hoogeschoollaboratorium en ze in het bereik te brengen onzer studenten zonder van hen een te langen oefentijd te vereischen.

Zoo hebben wij de techniek van de koolstof en waterstofbepaling in de organische verbindingen grondig veranderd. De uitslagen dezer proeven en de gevolgde werkwijze werden beschreven geweest in het *Bull. de la Société chimique*, **37**, 335, 1928 en ook in het *Natuurwetenschappelijk tijdschrift*, **10**, 129, 1928.

De stikstof bepaling volgens Dumas (Mikro Dumas) hebben wij zoodanig gewijzigd en vereenvoudigd dat thans onze studenten onmiddellijk uitslagen bekomen met verbazende nauwkeurigheid.

De techniek der halogeen en zwavelbepaling werd ook zoodanig veranderd geweest dat ze zelf in min beoefende handen vertrouwbare uitslagen oplevert.

Voor het oogenblik maken wij ook een nieuwe gazometrische koolstof en waterstofbepaling in organische stoffen klaar. Deze gezamenlijke veranderingen aan de mikromethodiek zullen binnen kort door mijn assistent Dr. Govaert gepubliceerd worden.

In het eerste proefschrift dat uitgegaan is uit het laboratorium heeft Dr. Evrard, thans werkleider op de Hoogeschool, bijgedragen tot de studie der talrijke verbindingen die het hexamethyleen-tetramine (urotropine) ondergaat met allerlei stoffen met zeer verscheiden functie. Hij heeft zijn aandacht bijzonder gevestigd op de verbindingen dezer stof met de zuren, de neutrale zouten en met de alkyl of arylhalogeniden. Daar het hexamethyleen-tetramine zeer vaak met eenzelfde stof meer dan eene verbinding geeft was een systematiek onderzoek van het ternair stelsel hexamethyleen-tetramine — onderzochte stof — oplosmiddel noodig. Dit werd gedaan volgens de restmethode bij constante temperatuur.

Deze proeven werden voorafgegaan door het onderzoek van het binair stelsel water-hexamethyleen-tetramine van af de eutektische temperatuur tot de hoogste temperatuur vereenigbaar met de stabiliteit van hexamethyleen tetramine (163°). Deze studie gaf enkele belangwekkende gegevens namelijk er werd bewezen dat boven 13° C. de oplosbaarheid dezer stof eerst afneemt bij stijgende temperatuur terwijl bij hoogere temperatuur (boven 80°) de oplosbaarheid met de temperatuur toeneemt, de vaste phase steeds dezelfde blijvende. Dit stelsel levert dus een nieuw voorbeeld op van retrogradeerende oplosbaarheidskromme zooals deze die onlangs beschreven werden door Smits en Mazee (*Zeitsch. phys. chem.*, **135**, 63, 1928).

Daar dit deel van het werk reeds verscheen in het natuurwetenschappelijk tijdschrift verwijs ik naar dit tijdschrift voor nadere bijzonderheden.

Het onderzoek der ternaire stelsels waarin eene stof met zure functie voorkomt werd, zooals het eenigzins vermoed werd, gedwarsboomd door ongewenschte bijreacties die optraden vooraleer het evenwicht voltrokken was. De verbindingen van hexamethyleen-tetramine met de zuren worden gemakkelijk tot de componenten gedissocieerd.

Het potentiometrisch opstellen van de neutralisatiekromme van hexamethyleen-tetramine met overchloorzuur toont aan dat deze stof zich hoogstens als éénwaardige base gedraagt. Hare dissociatie constante blijkt uiterst gering te zijn. Minder dan 10^{-12}.

Het onderzoek der verbindingen met neutrale zouten heeft zeer bevredigende uitslagen opgeleverd en menige stelsels zijn volgens de restmethode volledig onderzocht geweest. Zoo bij voorbeeld de stelsels met calcium en magnesium chloride. Daar dit deel van het werk nog niet verschenen is zal ik mij toelaten in eenige bijzonderheden te treden.

De ternaire stelsels :
urotropine-water-magnesium--chloriede
urotropine-water-calcium--chloriede

Urotropine verbindt zich met allerhande minerale zouten en in de laatste uitgave van Beilstein zijn verre over de honderd van die verbindingen vermeld. Toen we besloten eenige van die verbindingen in water te onderzoeken viel onze keus het eerst op magnesium en calciumchloriede, terwille van hunne zekere beteekenis voor de geneeskunde eenerzijds, en anderzijds omdat met die zouten geen storende bijreacties te verwachten waren. Hier hebben wij voor beide stelsels met de restmethode bevredigende uitslagen bereikt.

A. — *Het stelsel urotropine-water-$MgCl_2$*

Daar het magnesiumchloriede zeer sterk oplosbaar is hebben wij onze reeks komplexen slechts gedurende eenen dag in een thermostaat bij 25° laten heen en weer schudden. De uitslagen der ontleding van oplossingen en resten zijn achteraan in eene tabel samengevat.

Op een driehoekig vlak uitgedrukt leveren ze figuur 1 (volg. bladz.).

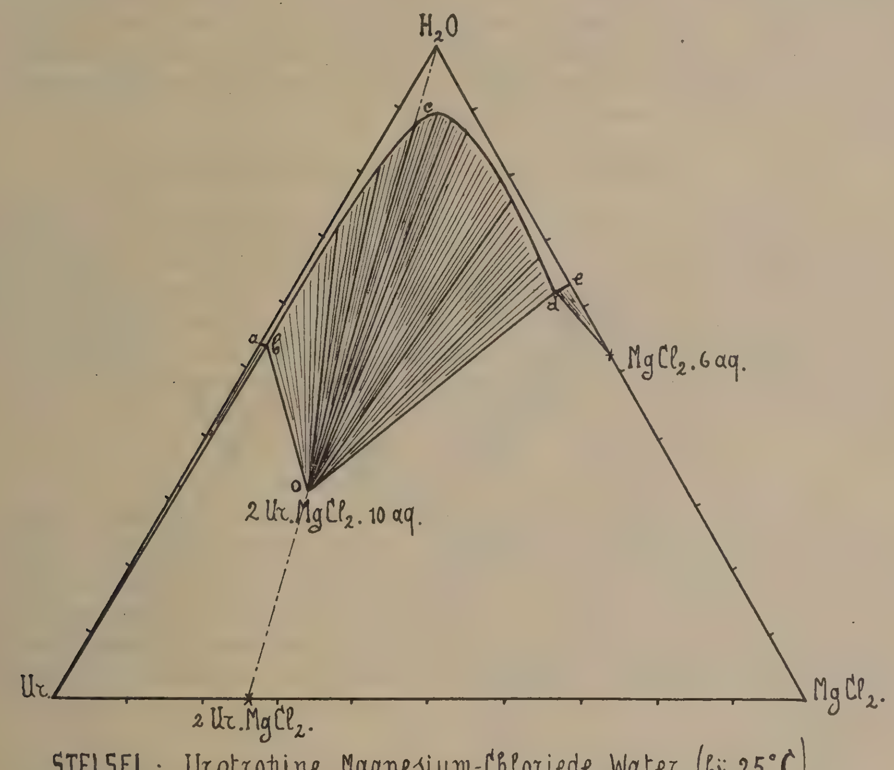
Het punt *a* geeft ons de oplosbaarheid van urotropine in water bij 25°; dit punt is ons gegeven door onze vroeger opgestelde oplosbaarheidskurve van urotropine in water. Het punt *e* (oplosbaarheid van $MgCl_2$) vinden wij in de litteratuur.

De reciproke oplosbaarheidskurve vertoont drie takken : *a-b*, *b-c-d* en *d-e*, hetgeen volgens de methode, bij de temperatuur der proef, naar het bestaan van een enkele verbinding wijst.

De eerste tak *a-b* geeft de oplosbaarheid aan van urotropine bij stijgende hoeveelheden $MgCl_2$; zooals men op de figuur ziet is dezen tak zeer kort, hetgeen beteekent dat de toevoeging van geringe hoeveelheden $MgCl_2$ in eene verzadigde urotropine oplossing reeds eene afscheiding van de veel min oplosbare verbinding verwekt. De proef toont dat bij een gehalte van 0,2 % $MgCl_2$ in de verzadigde urotropine oplossing die verbinding neerslaat. De volgende tak *b-c-d* is de wederkeerige oplosbaarheidskurve der verbinding met $MgCl_2$ of met urotropine. De oplosbaarheid der verbinding alleen, in zuiver water is ook in die kurve begrepen maar dat punt kan maar graphisch juist bepaald worden wanneer men de samenstelling der zuivere verbinding reeds kent. De korte tak *d-e* toont gelijk voor *a-b* aan, hoe in eene verzadigde oplossing van $MgCl_2$, betrekkelijk geringe hoeveelheden urotropine ook reeds de verbinding doen neerslaan. Bij een gehalte aan 2,3 % urotropine wordt de verzadigde $MgCl_2$ oplossing ook verzadigd aan de verbinding.

Om de natuur der verbinding te kennen hebben wij na de ontleding der resten, hunne samenstelling met deze der overeenstemmende moederloogen verbonden en lijnen verkregen die door verlenging bijna allen enkel naar drie bepaalde punten wigvormig konvergeeren.

Daar de top van den waaier *b-c-d-O* openlijk midden in het vlak ligt is het duidelijk dat de verbinding een hydraat is; door uitrekening van dit punt vonden wij de formule [2 Ur. $MgCl_2$ 10 aq]. Om nu zonder verdere bepaling de oplosbaarheid van die verbinding in zuiver water bij 25° te kennen is het voldoende dit laatste punt met den drie-



STELSEL: Urotropine, Magnesium-Chloriede, Water. (bij 25° C)

hoekstop H_2O door een lijn te verbinden.

Het snijpunt C van die lijn met de reciproke oplosbaarheidskurve *b-c-d* geeft die oplosbaarheid aan. Het bestaan van dit snijpunt bewijst ook dat de verbinding waarvan sprake door zuiver water niet ontbonden wordt zoodat ze dus door wasschen met water gezuiverd wordt.

Als kontrool der formule 2 Ur. $MgCl_2$ 10 aq. hebben wij eene oplossing van twee molen urotropine voor eene mole magnesiumchloriede langzaam en gedeeltelijk laten uitdampen tot we zeer schoone kristallen kregen; die werden uit de moederloog verwijderd, op vloeipapier goed afgedroogd en ontleed met volgende uitslagen :

Bepaling N (volgens Kjeldahl) gemiddeld	20,4 %		Mg : 4,38 %
Bepaling N volgens micro Dumas methode	20,0 %		Cl : 12,1 %
Bepaling Mg als $MgSO_4$; gemiddeld	4,45 %	Theorie voor 2 Ur.Mg Cl_2.10 H_2 O	
Bepaling Cl (volum. volgens Volhard)	12,6 %		N : 20,2 %

Die kristallen vertoonen de onverwachte eigenschap niet hygroscopisch te zijn hetgeen waarschijnlijk in verband staat met hunne betrekkelijk geringe oplosbaarheid. De toepassing van de methode van Schreinemakers laat ons dus toe te besluiten dat urotropine en magnesiumchloriede in water bij 25° slechts eene verbinding ondergaan en dat die verbinding het best te krijgen is uit komplexen die voor twee molen urotropine, een mole magnesiumchloriede bevatten. Bij het eerste zicht schijnt die verhouding noodzakelijk, maar voor het volgende stelsel zullen we zien dat de schijnbaar noodzakelijke stoechiometrische verhoudingen tot onverwachte verschijnsels kunnen leiden.

B. — *Het stelsel urotropine-water-calciumchloriede*

Het onderzoek van dit ternair stelsel op dezelfde wijze als met $MgCl_2$ heeft ons figuur 2 geleverd. Buiten de twee, wederom korte, wederkeerige oplosbaarheidskurven *a b* en *e f* vertoonen zich twee andere ingeschakelde krommen, wijzende op de tusschenkomst in het ternair evenwicht van twee verschillende verbindingen. De graphische methode gesteund op de proefondervindelijke gegevens, onderaan samengevat, leverde de twee punten O en O′ waarvan de omrekening leidt tot de formules :

$$2\,Ur.\,CaCl_2\,.\;\;10\,H_2O \text{ voor het punt O}$$
$$Ur.\,CaCl_2\,.\;\;6\,H_2O \text{ voor het punt O}'$$

De verkregen figuur kon ons nu goed aanduiden uit welke verhoudingen urotropine en calciumchloriede wij moesten vertrekken om als kontrool der methode die twee verbindingen door uitkristallisatie te bereiden. Voor de verbinding O mochten wij zonder bezwaar vertrekken uit eene oplossing van twee molen urotropine voor een mole calciumchloriede (verhouding V), voor de verbinding O′ mag niet vertrokken worden uit eene oplossing van equimoleculaire hoeveelheden der komponenten (verhouding V′).

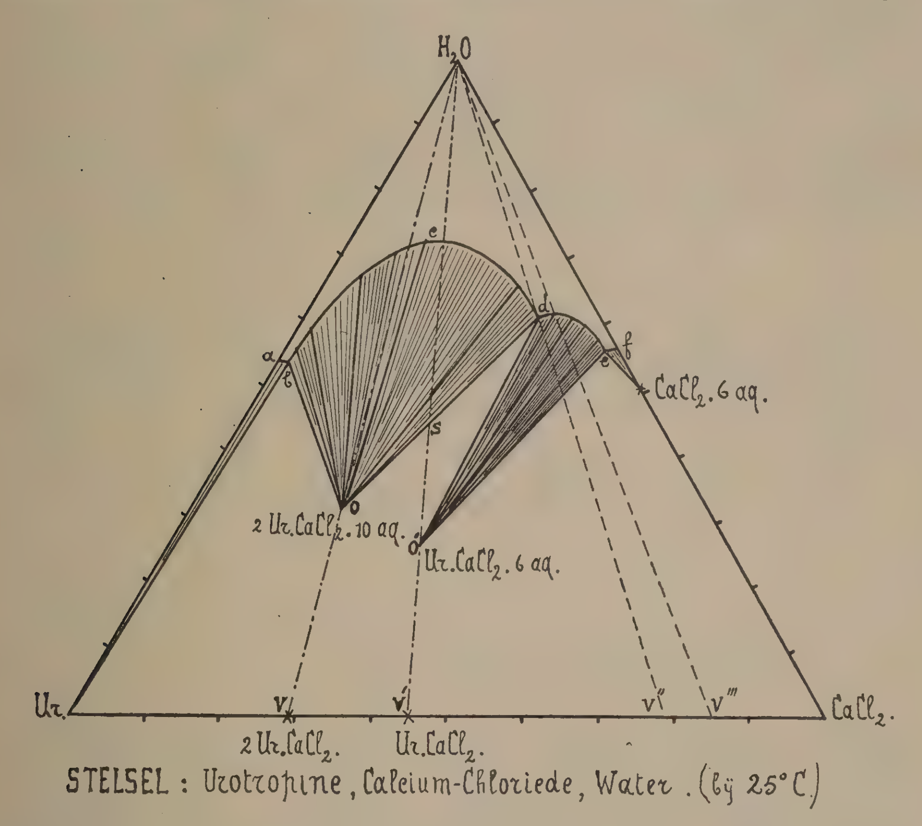
De uitdampingslijn $H_2O - O'$ toont ons immers duidelijk dat bij de concentratie C niet de verbinding O′ maar wel O neerslaat. Om de verbinding O′ te krijgen moet men dus uit oplossingen vertrekken die rijker zijn aan $CaCl_2$; men moet minstens uit de verhouding V″ vertrekken.

Wij lieten dus twee oplossingen langzaam en gedeeltelijk uitdampen, de eene met de verhouding V de andere met 15 deelen urotropine voor 85 deelen calciumchloriede, overeenstemmende met het punt V‴. Na eenige dagen kregen we kristallen die we goed afdroogden en ter ontleding onderwierpen :

Kristallen der oplossing I		Theorie voor 2 $Ur.CaCl_2$, 10 aq. (punt O)
Ca bepaling (micro bepal.) als $CaSO_4$ ·	6,95 %	
N bepaling (micro Dumas):	19,1 %	Ca : 7 %
N bepaling (semi-micro Kjeldahl)	19,2 %	N : 19,6 %

Kristallen der oplossing II		Theorie voor $Ur.CaCl_2$. 6 aq.: (punt O′)
N bepaling (semi-micro Kjeldahl)	15,3 %	N : 16 %
Cl bepaling (volum. Volhard)	21,2 %	Cl : 19,8 %
Ca bepaling (als $CaSO_4$)	12,8 %	Ca : 11,2 %

Voor de laatste kristallen vonden wij volgens de theoretische samenstelling wat te weinig stikstof en te veel chloor en calcium ; die afwijking schijnt ons in zekere mate normaal daar die kristallen slechts afgedroogd en niet gewasschen werden en aangezien ze niet groot en niet al te wel gevormd waren moest daar nog wat moederloog aankleven die moeilijk te



STELSEL : Urotropine, Calcium-Chloriede, Water. (bij 25° C)

verwijderen was. Daar die moederloog zeer rijk is aan calciumchloriede en arm aan urotropine was bij de ontleding een teveel aan Cl alsook aan Ca en een tekort aan N te verwachten.

Uit dit dubbel kontrool blijkt dus dat de punten O en O′ wel overeenstemmen met de aangegeven samenstelling. De verbinding 2 Ur. $CaCl_2$. 10 aq is gelijk de correspondeerende Mg verbinding ook niet hygroscopisch; de andere Ur. $CaCl_2$. 6 aq. vervloeit zeer langzaam hetgeen wel zou kunnen toe te schrijven zijn aan wat aanklevende moederloog die, zooals we het daar pas zegden, zeer rijk is aan calciumchloriede.

De figuur 2 toont ons duidelijk aan dat de verbinding O′ het wasschen met water niet kan verdragen zonder eene verandering in de samenstelling te ondergaan ; daarom kan ook van geen oplosbaarheid van die verbinding in zuiver water gesproken worden. Wanneer water bij die verbinding gevoegd wordt dan krijgen wij een komplex dat zich op de dilutie lijn

O′-S-H_2 O meer en meer naar den H_2 O top verschuift al naar gelang meer water toegevoegd wordt. Men ziet dat de kleinste hoeveelheid water van meet af het komplex in het gebied O′ dO brengt zoodat de verbinding O zicht vormt ten koste van de verbinding O′.

Voegt men meer water toe tot in het punt S dan is er geen sprake meer der verbinding O′ ; alleen de vaste phase O verkeert er nog in evenwicht met de moederloog totdat ze zelf bij verdere dilutie in C in oplossing treedt. Dergelijke gevallen zijn waarschijnlijk niet zeldzaam in de scheikunde en wij denken dat ze eene niet te verwaarloozen reden uitmaken voor dewelke in sommige verbindingen de samenstelling als onzeker voorkomt. In dit opzicht prijzen wij de toepassing der restmethode die ons de kortste weg schijnt om moeilijkheden van dien aard op te lossen.

Proefondervindelijke gegevens

Voor de bepaling van $MgCl_2$ en $CaCl_2$ werd het Cl' volumetrisch bepaald volgens de Volhard methode ; voor de urotropine, werd zooals voor de vorige stelsels de stikstof gedoseerd volgens de semi micro Kjeldahl methode.

Stelsel urotropine :-$MgCl_2$ — H_2O (bij 25°)

Oplossingen				Resten		
Buisje	Ur, (binair %)	Mg Cl_2 (binair %)	H_2O (ternair %)	Ur.	Mg Cl_2	H_2O
12	99,8	0,2	54,5	98,0	2,0	47,0
13	99,7	0,3	52,5	95,2	4,8	38,5
14	99,6	0,4	54,5	89,5	10,5	48,0
15	97,6	2,4	73,0	79,3	20,7	51,25
16	90,1	9,9	83,0	76,6	23,4	53,5
17	71,3	28,7	88,5	73,5	26,5	57,0
18	44,7	55,3	90,5	71,7	28,3	56,0
19	29,0	71,0	89,0	70,2	29,8	56,5
20	15,0	85,0	87,0	65,4	34,6	58,0
21	9,3	90,7	84,0	65,6	34,4	55,0
22	5,6	94,4	80,0	60,4	39,6	55,0
23	4,2	95,8	77,5	57,0	43,0	54,0
24	6,0	94,0	68,0	42,3	57,7	53,5
25	7,25	92,75	64,5	36,0	[illegible]	49,5
26	6,2	94,0	62,5	15,0	85,0	56,0
27	6,1	93,8	63,5	5,4	94,6	56,0
28	6,0	93,9	63,3	2,5	97,5	57,7

Stelsel urotropine : $CaCl_2$ — H_2O (bij 25°)

Oplossingen			Resten		
Ur. (binair %)	$CaCl_2$ (binair %)	H_2O (ternair %)	Ur.	$CaCl_2$	H_2O
98,0	2,0	56,0	90,3	9,7	32,2
95,5	4,5	58,75	81,0	19,0	46,0
86,5	13,5	66,5	76,8	23,2	49.0
76,0	24,0	70,0	73,8	26,2	48,0
64,0	36,0	72,5	71,0	29,0	51,8
24,65	75,35	65,7	—	—	—
21,2	78,8	61,5	71,5	28,5	33,8
21,2	78,8	61,0	71,4	28,6	34,7
21,2	78,8	61,6	72,4	27,6	34,3
14,7	85,3	61.8	46,6	53,4	38,3
10,0	90,0	60,5	46,0	54,0	38,7
5,6	94,4	60,1	36,3	63,7	43,6
4,3	95,7	57,5	36,6	66,4	41,0
3,5	96,5	56,2	20,8	79,2	46,5
3,6	96,3	56,0	3,36	96,64	53,0

Oplosbaarheid van Urotropine bij 25° — 46,4 % (gewichtsprocent).
Oplosbaarheid van Magnesiumchloriede 25° — 36,0 % (gewichtsprocent).
Oplosbaarheid van Calciumchloriede 25° — 45,0 % (gewichtsprocent).

De studie der verbindingen van hexamethyleen-tetramine met alkyl of arylhaloiden liet ondervinden dat in deze verbindingen, in tegenstelling met de vorige, de urotropine hare zelfstandigheid verliest. Deze verbindingen zijn halogeen zouten van heelemaal nieuwe basen. Het hexamethyleen tetramine is hier niet meer uit de verbinding te krijgen zoodat er hier geen sprake meer is van additie produkten. Verscheidene van deze basen werden afgezonderd en hunne dissociatie constanten werden bepaald : die constanten zijn tamelijk grooter dan deze van het hexamethyleen tetramine.

Met overchloorzuur geven die basen in het algemeen een weinig oplosbare en goed gekristalliseerde zouten hetgeen onder meer hunne functie van gesubstitueerde ammonium zouten bevestigt.

Deze verbindingen vereenigen zich met talrijke metaalzouten tot weinig oplosbare komplexen waarvan vele beteekenis kunnen hebben voor de analytische Scheikunde. Zoo werd de verbinding met allyliodide met voordeel gebruikt als reagens bij het opzoeken, het doseeren en het scheiden van cadmium (Zie *Annales de Chimie analytique*, 1929).

*
* *

In zijn proefschrift heeft mijn leerling De Ceuster bijgedragen tot de studie der splitsing der aromatische ketonen met het doel de theorie der affiniteitsbeneming te toetsen. Menige nog onbekende ketonen werden bereid en gesplitst. Deze opzoekingen zullen aangevuld worden door het spektrophotometrisch onderzoek der halochromie verschijnselen die deze ketonen vertoonen.

*
* *

Andere opzoekingen over algemeene scheikunde zijn voor het oogenblik op het laboratorium ingesteld onder anderen over het oxydeerend vermogen der Chloramine T. tegenover organische stoffen ; over de toepassing van enkele metaalperchloraten als droogmiddel in de organische scheikunde. Bepaalde uitslagen werden reeds verkregen ; ze zullen in de proefschriften mijner leerlingen vereenigd worden.

RÉSUMÉ

Le laboratoire de chimie générale de l'Université de Gand (Section flamande, doctorat) de création récente est outillé de manière à pouvoir appliquer les méthodes de microchimie analytique quantitative. Quelques travaux modifiant les techniques des dosages microchimiques organiques y ont été exécutés. La seule thèse achevée à ce jour est un travail du Docteur Evrard sur les combinaisons moléculaires de l'hexaméthylène tétramine avec des substances à fonctions chimiques diverses telles des acides, des sels et des dérivés halogénés. Ces substances furent étudiées par la méthode des restes : diverses combinaisons nouvelles furent isolées et analysées. Pour plusieurs d'entre elles le domaine de stabilité fut déterminé. Beaucoup de ces combinaisons ne peuvent exister qu'en présence d'un excès de l'un des constituants et ne supportent pas sans décomposition le lavage avec le dissolvant pur. Dans ses combinaisons avec les halogénures d'altryles l'hexaméthylène tétramine perd complètement son individualité et ces dérivés se comportent comme des sels d'ammonium substitués donnant des picrates et des perchlorates particulièrement bien cristallisés. Certains de ces dérivés forment avec les sels métalliques des sels doubles dont plusieurs sont susceptibles d'emploi en chimie analytique.

RECHERCHES DE CHIMIE ANALYTIQUE

par A. PINKUS,

Professeur à l'Université de Bruxelles

L'activité scientifique des laboratoires que je dirige depuis six ans à l'Université de Bruxelles s'est développée dans plusieurs directions différentes. Je ne parlerai dans cette communication que des travaux de Chimie analytique pure et de Chimie physique appliquée à des problèmes analytiques.

Une première série de recherches a été commencée en 1924-1925 par F. MARTIN [1] qui a déterminé les solubilités d'un grand nombre de dérivés métalliques du cupferron (sel d'ammonium de la nitrosophénylhydroxylamine) en vue d'étendre l'emploi de ce réactif en analyse gravimétrique. Ces mesures de solubilités ont permis de répartir les cations usuels des trois premiers groupes analytiques en quatre classes suivantes :

1° Cations précipitant quantitativement par le cupferron en solutions neutres et acides, de $p_H \geqslant 0$ (moins de 1 équ.-gr. d'acide fort par litre) : Hg_2^{II}, Cu^{II}, Bi^{III}, Sb^{III}, Sn^{II}, Sn^{IV}, Fe^{II}, Fe^{III} ;

2° Cations précipitant quantitativement en solutions neutres, pas du tout en solutions de $p_H \leqslant 0{,}3$ (plus de 0,5 équ.-gr. d'acide fort par litre) : Al^{III}, Pb^{II}, Cd^{II} ;

3° Cations ne précipitant que partiellement en solutions neutres, pas du tout en solution de $p_H \leqslant 0{,}3$: Ag^{I}, Hg^{II}, Zn^{II}, Mn^{II}, Ni^{II}, Co^{II}, Cr^{III} ;

4° Cations ne précipitant pas du tout, même en solutions neutres et concentrées : As^{III}, As^{V}, Sb^{V}.

On pouvait donc envisager l'emploi du cupferron pour la séparation quantitative des métaux de la première classe d'avec ceux des trois autres, en opérant en solutions suffisamment acides, et des métaux de la deuxième classe d'avec ceux de la quatrième, en opérant en solution neutre.

La vérification de ces conclusions et la mise au point des dosages et des séparations qu'elles ont suggérés ont fait l'objet d'une série de recherches exécutées successivement par E. BELCHE, Mlle J. CLAESSENS, J. DERNIES et

(1) A. PINKUS et F. MARTIN, C. R. du 6e Congrès de Chimie industrielle, Bruxelles (1926) et *J. Ch. phys.*, **24**, 83 et 137 (1927).

Mlle M. KATZENSTEIN [1]. Elles ont abouti, d'une part, à de nouveaux procédés de dosage gravimétrique de l'aluminium et du bismuth, plus rapides et plus précis que les procédés classiques à l'ammoniaque et au carbonate d'ammonium ; d'autre part, à la simplification du dosage de l'étain tétravalent à l'aide du cupferron et à l'extension du procédé à l'étain bivalent ; enfin, à toute une série de séparations des métaux usuels, parmi lesquelles il convient de signaler tout particulièrement la séparation de l'aluminium d'avec le magnésium et de l'étain ou du bismuth d'avec l'antimoine, l'arsenic, le plomb, le zinc et le cadmium, dont on connaît l'importance dans les analyses de nombreux alliages industriels.

Au cours du travail mentionné plus haut, F. Martin a établi un nouveau procédé de dosage colorimétrique de l'aluminium, basé sur le fait que l'addition du cupferron à une solution très diluée de ce métal donne naissance à un hydrosol jaunâtre, dont le pouvoir absorbant suit très bien la loi de Beer. Ce procédé a ensuite été étudié dans mon laboratoire par Mlle L. DE BROUCKÈRE et E. BELCHE [2]. En combinant la colorimétrie à la néphélométrie et en opérant au besoin en présence d'un colloïde protecteur tel que la gélatine, on arrive à doser à $0{,}5-1$ % près des quantités extrêmement faibles d'aluminium, de 10^{-3} à $5 \cdot 10^{-6}$ atome-gr. par litre, soit de $3 \cdot 10^{-4}$ à $2 \cdot 10^{-6}$ gramme en opérant sur 10 cm^3 de solution analysée. Ce procédé peut d'ailleurs être étendu à tous les métaux qui donnent avec le cupferron des précipités très peu solubles. C'est ainsi qu'il a été appliqué au lanthane par Mlle DE BROUCKÈRE [3] et au mercure par Mlle KATZENSTEIN [4]. Dans ce dernier cas, le procédé est encore utilisable à l'extrême dilution de $2{,}5 \cdot 10^{-8}$ atome-gr. de métal par litre, soit de $5 \cdot 10^{-8}$ gramme dans 10 cm^3.

Les mesures des faibles solubilités interviennent en chimie analytique non seulement lorsqu'on veut établir un programme rationnel de recherches sur l'emploi d'un réactif à de nouveau procédés de dosages et de séparations, mais aussi lorsqu'il s'agit d'améliorer un procédé connu, en déterminant la variation de la solubilité d'un précipité avec la composition du liquide qui le baigne, en particulier avec l'excès du réactif précipitant. Une recherche de ce genre a été effectuée récemment sur ma demande par N. BERKOLAÏKO [5], qui a mesuré la solubilité du chlorure d'argent dans l'eau pure et dans des solutions de chlorure de potassium de diverses concentrations. Ces mesures ont montré qu'à 25° la solubilité passe par un minimum au voisinage de 0,02 mol.-gr. de chlorure de potassium par litre. Elle est alors de $8 \cdot 10^{-7}$ atome-gr. d'argent par litre, 14 fois plus faible que dans l'eau pure et 146 fois plus faible que dans une solution normale de

(1) Ces travaux ont été publiés au *Bulletin de la Soc. Chim. de Belgique*, **36**, 277 et 413 (1927); **37**, 267, (1928) et **39**, 179 (1930).

(2) Mlle L. DE BROUCKÈRE et E. BELCHE, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **36**, 288 (1927)

(3) Mlle L. DE BROUCKÈRE, *J. Ch. phys.*, **26**, 250 (1929).

(4) A. PINKUS et Mlle M. KATZENSTEIN, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **39**, 179 (1930).

(5) Ce travail est en publication au *Journal de Chimie physique*.

chlorure de potassium. Ces résultats s'expliquent par la formation de composés complexes solubles, et il a été possible de calculer pour chaque concentration du chlorure de potassium le « degré de complexité » du chlorure d'argent, c'est-à-dire la fraction de l'argent dissous existant sous d'autres formes que les ions simples Ag^+. Le degré de complexité est déjà voisin de 50 % en présence de 10^{-4} mol.-gr. de KCl par litre et atteint pratiquement 100 % à partir d'environ 0,25 mol.-gr. KCl par litre.

La formation de composés complexes plus ou moins solubles conduit à des résultats gravimétriques erronés par défaut. Ce sont, au contraire, des erreurs par excès qui se produisent lorsque le précipité « entraîne » les réactifs utilisés ou les substances étrangères contenues dans la solution analysée. Les moyens d'éviter ces entraînements, qui peuvent se produire au moment même de la formation du précipité ou ultérieurement, par adsorption, ont été étudiés dans mon laboratoire par P. Wehl (1) et Mlle V. Diedrich (2). Le premier de ces travaux a eu pour objet l'étude de l'influence de l'agitation sur l'entraînement du calcium et du fer par le sulfate de baryum et l'entraînement du magnésium par l'hydrate d'aluminium. Conformément aux résultats obtenus précédemment par P. Dutoit et E. Grobet (3) et par Volmer et Stahl (4), une agitation énergique permet de supprimer presque complètement l'entraînement lorsque celui-ci résulte de la formation d'un composé relativement peu soluble, dont le produit de solubilité se trouve dépassé dans les couches d'adsorption entourant les particules du précipité qui se forme. C'est le cas notamment de l'entraînement du calcium dans la précipitation du baryum par l'acide sulfurique. Par contre, l'agitation est sans effet si l'entraînement est dû à l'adsorption directe de la substance étrangère par le précipité, comme c'est le cas du magnésium retenu par l'hydrate d'aluminium ou du fer retenu par le sulfate de baryum. Les résultats négatifs obtenus dans ce dernier cas infirment la théorie de A. Charriou (5) suivant laquelle le rôle de l'agitation s'expliquerait par le fait qu'elle favorise l'obtention d'un précipité à gros grains, de faible surface adsorbante.

Dans le cas où l'entraînement résulte d'un phénomène d'adsorption directe et n'est pas supprimé par l'agitation, on peut chercher à déplacer l'impureté fixée en soumettant le précipité à des lavages convenables. Le travail mentionné de Mlle Diedrich avait pour but d'étudier ces phénomènes de déplacement et de mettre à l'épreuve la « règle » formulée à ce sujet par A. Charriou (6), d'après laquelle le déplacement d'un électrolyte adsorbé ne serait possible qu'à l'aide d'ions de valence électrochimique supérieure. Cette règle s'est montrée tout à fait inexacte ; on arrive à éliminer complètement le cuivre ou le lanthane adsorbés sous forme de chlorures

(1) P. Wahl, Thèse de doctorat, Bruxelles (1929).
(2) Mlle V. Diedrich, Thèse de doctorat, Bruxelles (1930).
(3) P. Dutoit et E. Grobet, *J. Ch. phys.*, **19**, 328 (1921).
(4) Volmer et Stahl, *C. R. Acad. Sc. Paris*, **178**, 1169 (1924)
(5) A. Charriou, *J. Ch. phys.*, **23**, 680 (1926).
(6) A. Charriou, *J. Ch. phys.*, **23**, 447 (1926).

par le sulfate de baryum en lavant le précipité avec une solution de chlorure de potassium (saturée de sulfate de baryum pour éviter la dissolution des couches superficielles du précipité); on peut donc déplacer les ions bivalents du cuivre et les ions trivalents du lanthane par les ions monovalents du potassium. La possibilité d'un tel déplacement résulte d'ailleurs des recherches de Mlle L. de Brouckère sur l'adsorption des électrolytes par les surfaces cristallines (1), effectuées en partie dans mon laboratoire. Ces recherches ont prouvé, en effet, que l'adsorption par le sulfate de baryum de divers halogénures à cations monovalents ou polyvalents est un phénomène parfaitement réversible et que le nombre d'équivalents-grammes de sel fixé par gramme d'adsorbant ne dépend pas de la valence du cation.

Au cours de ces divers travaux sur les faibles solubilités et l'adsorption, on a été amené à modifier plus ou moins complètement les procédés servant au dosage de très petites quantités d'électrolytes dissous. C'est ainsi que F. Martin a utilisé dans le travail déjà cité deux nouvelles variantes de la méthode potentiométrique, applicables aux cas où l'électrolyte à doser forme des ions ou des molécules complexes. L'une de ces variantes, purement empirique, présente de plus l'avantage d'éliminer complètement les erreurs pouvant résulter des potentiels de diffusion — à condition que ces potentiels soient suffisamment reproductibles — et l'avantage d'être à l'abri des erreurs provenant de l'incertitude touchant les coefficients d'activité des ions dont dépend la force électromotrice de la pile employée. Une troisième variante, de beaucoup la meilleure, a été établie dans la suite par Mlle de Brouckère (2). Elle consiste à utiliser une pile du type :

$$\mathrm{M} \left| \overset{\mathrm{I}}{c\,\mathrm{M_n\,A_m}} \right| \text{pont de jonction} \left| \overset{\mathrm{II}}{x\,\mathrm{M_n\,A_m}} \right| \mathrm{M}$$

dans laquelle II est la solution analysée d'un sel $M_n A_m$ de concentration x à déterminer, et I une solution du même sel de concentration c connue, supérieure à x. On dilue progressivement la solution I et on mesure après chaque nouvelle dilution la f. é. m. E de la pile. On trace ensuite la courbe $|E| = f(\log c)$ qui présente évidemment un minimum pour $c = x$, car alors la f. é. m. devient nulle. Pratiquement, on obtient deux branches rectilignes, une descendante et une montante, dont l'intersection a pour ordonnée $E=0$ et pour abscisse le logarithme de la concentration cherchée x. Ce procédé a été vérifié en dosant le cuivre, le cadmium et le chlore dans des solutions de chlorure de cuivre, de sulfate de cadmium et de chlorure de sodium (3). On obtient des résultats exacts à quelques dixièmes de pour-cent près lorsque les solutions analysées contiennent 10^{-1} à 10^{-4} équ.-gr. de sel par litre, à 2-3 % près lorsque la concentration n'est que de 10^{-5} équ.-gr.

(1) Voir au sujet de ces recherches la communication présentée à ce Congrès par Mlle de Brouckère.

(2) Mlle L. de Brouckère, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **37**, 103 (1928).

(3) Dans les deux premiers cas, les électrodes M sont constituées par le cuivre ou le cadmium ; dans le troisième cas par l'argent, les solutions I et II contenant du chlorure d'argent comme corps de fond.

par litre. Ce procédé a été appliqué avec succès par M[lle] de Brouckère dans ses recherches sur l'adsorption. Je signalerai encore, comme se rattachant aux méthodes d'analyse physico-chimiques, une étude faite par le même auteur sur les erreurs qui peuvent s'introduire dans les mesures de conductivités du fait de l'adsorption des électrolytes par le noir de platine recouvrant les électrodes (1).

Dans le domaine de l'analyse volumétrique, deux études ont été consacrées au dosage du manganèse par le procédé de Procter Smith. Ce procédé est basé sur l'oxydation des ions manganeux en ions permanganiques au moyen de l'acide persulfurique, en présence d'un sel d'argent agissant comme catalyseur, et sur le dosage du permanganate formé à l'aide d'une solution titrée d'anhydride arsénieux. Malgré les nombreux travaux qui lui ont été consacrés, ce procédé ne conduit pas à des résultats satisfaisants, car si l'on décompose par ébullition l'excès du persulfate avant le titrage, on détruit en même temps une partie du permanganate, et si on laisse le persulfate, les résultats sont erronés par suite de la réoxydation continuelle des ions manganeux. Dans le but de remédier à ces inconvénients, j'ai demandé à M[lle] L. Ramakers (2) d'étudier le mécanisme de l'oxydation catalytique des sels manganeux qui est à la base du procédé de Procter Smith. Au point de vue qui nous occupe, ce travail a abouti à la conclusion que l'on peut transformer complètement et rapidement les ions manganeux en ions permanganiques déjà à la température ordinaire, à condition d'opérer sur une solution contenant par litre tout au plus 10^{-4} at.-gr. de manganèse et 1 équ.-gr. d'acide nitrique ou sulfurique, et pas moins de $5 \cdot 10^{-3}$ mol.-gr. de nitrate d'argent et 0,5 mol.-gr. de persulfate d'ammonium. Les conditions d'oxydation une fois fixées, j'ai demandé à M[lle] R. Denys (3) d'étudier la deuxième partie du problème, notamment le dosage du permanganate par l'anhydride arsénieux en présence du persulfate d'ammonium, du nitrate d'argent et de l'acide nitrique ou sulfurique. Cette étude a conduit à une variante du procédé de Procter Smith, consistant à titrer le permanganate en présence du persulfate en excès, mais après avoir éliminé les ions d'argent par précipitation sous forme de chlorure, ce qui permet d'éviter complètement la réoxydation des ions manganeux formés au cours du titrage. Cette variante donne des résultats tout à fait reproductibles et exacts en valeurs absolues si le titre de la solution arsénieuse a été déterminé par le même procédé, à l'aide d'une solution de sulfate de manganèse dont la concentration est voisine de celle de la solution analysée.

Un autre problème d'analyse volumétrique a été étudié dans mon laboratoire par A. Juliard et S. Silberschatz (4), qui ont soumis à une révision complète le dosage iodométrique de l'ozone et ont montré qu'on ne peut obtenir des résultats exacts qu'à condition d'absorber le gaz analysé dans une solution neutre ou très faiblement acide d'iodure de potassium. Il faut

(1) M[lle] L. de Brouckère, *J. Ch. phys.*, **25**, 294 (1928).
(2) M[lle] L. Ramakers, Thèse de doctorat, Bruxelles (1926).
(3) M[lle] R. Denys, Thèse de doctorat, Bruxelles (1929).
(4) A. Juliard et S. Silberschatz, *Bull. Soc. chim. Belg.* **37**, 205 (1928).

empêcher dans ce but l'alcalinisation progressive de la solution, en ajoutant un excès suffisant d'acide borique ou un mélange-tampon d'acide borique et de borax ou de phosphate monosodique et disodique, de façon à maintenir constamment au voisinage de 7 le p^{H} de la solution absorbante. La solution neutre d'iodure de potassium contenant le mélange-tampon d'acide borique et de borax convient également au dosage simultané de l'ozone et du chlore. La quantité d'iode libéré représente alors exactement la somme des deux gaz, soit deux atomes d'iode pour chaque molécule d'ozone ou de chlore.

Ce travail a été motivé par des recherches de mécanique chimique dont il est question dans une autre communication présentée à ce Congrès. Il en est de même d'une étude sur le dosage de l'azote nitrique à l'aide du nitromètre de Lunge, dont s'est chargé J. Jacobi (1), et d'un travail que vient de terminer dans mon laboratoire C. Vandendries (2) sur l'analyse des mélanges de chlorure de nitrosyle et de chlore ou de bioxyde d'azote.

On sait que le procédé de Lunge, utilisé dans un grand nombre d'analyses industrielles de composés azotés, consiste à décomposer les nitrates ou nitrites par agitation avec de l'acide sulfurique et du mercure, et à mesurer le volume du bioxyde d'azote libéré. Les expériences de Jacobi ont montré que ce procédé est entaché d'erreurs très notables, dues à diverses réactions accessoires et à la fixation du bioxyde d'azote par le sulfate mercureux. Ces causes d'erreurs, qu'il est impossible d'éliminer complètement, rendent le procédé inapplicable à des dosages précis, contrairement à l'opinion généralement admise.

Quant au travail de Vandendries, il a abouti à la mise au point d'un procédé purement gravimétrique d'analyse des mélanges gazeux mentionnés. Ce procédé consiste à absorber ces mélanges dans une solution de potasse caustique, à transformer ensuite le nitrite et l'hypochlorite en nitrate et chlorure, au moyen d'eau oxygénée, et à doser finalement les ions NO_3^- par le procédé au nitron de Busch, ce qui donne l'azote total, et les ions Cl^- par le procédé au chlorure d'argent, ce qui donne le chlore total. La composition du mélange gazeux initial se déduit alors directement des résultats fournis par ces deux dosages gravimétriques.

---

(1) A. Pinkus et J. Jacobi, *Bull. Soc. chim. Belg.*, **36**, 448, (1927).
(2) C. Vandendries, Thèse de Doctorat, Bruxelles (1930).

DE KETONSPLITSING TOT ONDERZOEK DER AFFINITEITSBENEMING

door P. DECEUSTER

De theorie der affiniteitsbeneming zoekt iedere reaktie der organische Chemie uit te leggen door de relatieve affiniteitsbenemingen der radikalen die aan de reaktie deel nemen. Alzoo komt het er op aan die relatieve affiniteitsbenemingen te bepalen ; en eens die gekend kunnen we (de theorie aannemend) vele reakties uitleggen.

Tot hier toe werden een veertigtal methodes aangewend tot dit doel. We hebben deze methodes gecriticeerd en zijn tot het besluit gekomen dat wel de helft ervan te verwerpen zijn daar ze geen eenduidige resultaten geven.

De verschillende redens waarom die methodes te verwerpen zijn, zijn allen getrokken uit een consequente doorvoering der valentie theorie van Werner-Thiele en zullen later uitvoeriger besproken worden.

Wat de resultaten betreft, deze zijn lichtjes ten voordeele der theorie, maar niet op zeer uitgesprokene wijze, want wel komen de methodes die de affiniteitsbeneming aan koolstof meten goed overeen uit, maar deze die ze meten aan stikstof, zwavel, zuurstof, arsenik, kwikzilver, tin en chloor geven zeer slechte overeenkomsten.

Op aanraden van Professor Goubau hebben we nu een methode onderzocht die, op ondubbelzinnige wijze, ons toelaat besluiten te trekken nopens de affiniteitsbeneming. Het is namelijk de ketonsplitsingsmethode.

Wanneer we een asymetrisch keton nemen en we spiltsen het op zoodanige wijze dat een der twee radikalen R of R′,

$$R—CO—R'$$

aan de carbonylkoolstof blijft hangen dan zal natuurlijk het radikaal dat de meeste affiniteit beneemt het vast aan de CO groep gebonden blijven en dus het meeste carbonyl produkt geven.

In de literatuur nu waren reeds veel asymetrische ketonen gesplitst en dat op verschillende wijzen. Namelijk onder invloed van natronkalk, na triumamide, zwavelzuur, Ioodwaterstofzuur en phosphoorzuur.

Bij het doorzoeken der literatuur vonden we alzoo een 83 splitsingen van asymetrische ketonen (de ingewikkelde ketonen weggelaten). Voor 52 dezer splitsingen was de affiniteitsbeneming der radikalen gekend ; daarvan waren er 14 die met de vroegere methodes overeenkwamen, 8 zonder uitslag en 34 die niet met de vroegere uitslagen overeenstemden. Dit was dus reeds ten nadeele der theorie.

We hebben dan zelf eenige ketonen gesplitst, namelijk de volgende :
phenyl p.diphenyl keton,
p.tolyl p. diphenyl keton,
α naphtyl p.diphenyl keton,
β naphtyl p.diphenyl keton,
p.anisyl p.diphenyl keton,
p.chloorphenyl p.diphenyl keton.

De drie laatste ketonen werden nog niet bereid.

Deze ketonen werden gesplitst met natronkalk en natriumamide, en de twaalf splitsingen gaven de volgende uitslagen: 4 ten voordeele der theorie, 3 zonder uitslag en 5 ten nadeele.

Wanneer we onze resultaten bij de vroeger aangehaalde voegen dan wordt het :

Van de 68 splitsingen zijn er 18 ten voordeele der theorie, 11 zonder uitslag en 39 ten nadeele der theorie.

Dit is op zich zelf reeds voldoende om de theorie als ongeldig op zij te schuiven ; maar het ergste bewijs tegen de theorie is wel dit :

Wanneer we de volgende ketonen beschouwen :
β naphtyl phenyl keton,
phenyl p.diphenyl keton,
p.diphenyl β naphtyl keton,
dan is niet het eigenaardigste ervan dat er twee van de drie met natriumamide splitsen op een manier die niet met de vorige methodes overeenstemt maar wel dit :

Door de splitsing van β naphtylphenyl keton hadden Lucas en Schönberg gevonden dat β naphtyl meer affiniteit beneemt dan phenyl.

We schrijven dus :

β naphtyl>phenyl.

Door de splitsing van phenyl p.diphenyl keton vonden we nu dat phenyl meer affiniteit beneemt dan p.diphenyl.

We schrijven dus de reeks verder :

β naphtyl>phenyl>p.diphenyl.

Door de splitsingen van p.diphenyl β naphtyl keton eindelijk vonden we dat p.diphenyl meer affiniteit beneemt dan β naphtyl.

β naphtyl>phenyl>p.diphenyl > β naphtyl.

Het louter overschouwen dezer reeks toont duidelijk aan welke schromelijke contradicties er in liggen. β naphtyl begint en sluit de reeks ; deze is dus circelvormig en we vinden dat β naphtyl tegelijk meer affiniteit beneemt dan phenyl en p.diphenyl en minder dan deze radikalen. We zouden dus evengoed de reeks kunnen omkeeren en voor deze radikalen de relatieve affiniteitsbeneming opstellen die we willen.

Voor de volgende drie ketonen is het hetzelfd geval ;
p.anisyl phenyl keton,
phenyl p.diphenyl keton,
p.diphenyl p.anisyl keton.

Uit de eerste dezer drie ketonen uitgevoerd door Haller en Bauer en Schönberg werd gevonden dat p.anisyl meer affiniteit beneemt dan phenyl. Door dezelfde redeneering op onze splitsingen toe te passen vinden we dan de volgende reeks :

p.anisyl>phenyl>p.diphenyl>p.anisyl.

We hebben ook de andere ketonen gesplitst in de hoop nog gesloten reeksen te kunnen opstellen doch de proefnemingen verboden dit.

Deze feiten druischen dus ten volste tegen de theorie in, en we zijn verplicht deze te verwerpen.

RÉSUMÉ

Dans l'intention d'apporter une contribution à l'étude expérimentale de la théorie de Werner-Thiele dans la chimie organique nous avons comparé les différentes méthodes au moyen desquelles on a, jusqu'ici, contribué à l'étude de la capacité affinitaire relative des différents radicaux organiques.

La critique de ces méthodes et de leurs résultats nous a montré que ces résultats sont légèrement en faveur de la théorie, mais pas d'une façon très explicite.

Une des méthodes des plus irréprochables est celle qui étudie la scission des cétones dissymétriques.

Nous avons parcouru la littérature de ces cétones et avons trouvé qu'elles peuvent se scinder sous l'action de différents agents; entre autres, l'amidure de sodium, la chaux sodée, les acides phosphoriques, iodhydrique et sulfurique.

Parmi les scissions trouvées dans la littérature, il y en a 14 en faveur de la théorie, 9 sans résultat et 34 qui ne sont pas d'accord avec la théorie.

Nous avons alors effectué une douzaine de scissions par l'amidure sodique et la chaux sodée et nous avons trouvé que 4 de ces scissions s'accordaient avec la théorie, 3 étaient sans résultat et 5 en contradiction avec les résultats fournis par d'autres méthodes.

Mais, en plus, nous avons pu réaliser les cycles fermés suivants (la capacité affinitaire va en montant de droite à gauche) :

β naphtyl>phenyl>p.diphenyl> β naphtyl

et

p.anisyl>phenyl>p.diphenyl>p.anisyl.

Comme on le voit, les mêmes radicaux commencent et terminent les séries; de sorte que le β naphtyl (ou p.anisyl) a en même temps une capacité plus grande ou plus petite que les radicaux médians.

Ces faits sont en contradiction flagrante avec la théorie, de sorte que nous sommes obligés de la rejeter.



Ces recherches ont été faites à l'Université de Gand, au laboratoire de chimie organique, sous la direction du professeur Goubau.

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA CONSTITUTION DE L'ERGOSTÉROL[1]

par A. CASTILLE,

Professeur à l'Université de Louvain

Depuis 1928, nous avons entrepris dans notre laboratoire, l'étude de la constitution chimique de l'ergostérol et de quelques-uns de ses dérivés. Cette étude a été faite en collaboration avec E. Ruppol et Z. De Boe.

Au cours de nos recherches, nous avons été amenés à étudier tout spécialement certains produits d'isomérisation et de réduction de l'ergostérol.

1° *Produits d'isomérisation.*

Reindel a montré que lorsqu'on traite l'ergostérol en solution chloroformique par un courant d'acide chlorhydrique gazeux, il se forme de l'iso-ergostérol 135° F., produit qui ne présente plus aucun des caractères de l'ergostérol.

Nous avons montré que l'iso-ergostérol de Reindel se laisse scinder en deux isomères dont l'un fond à 135-136°, l'autre à 145-146°. L'allure des spectres d'absorption ultraviolets de ces dérivés nous a montré, en outre, que ces deux produits sont des isomères géométriques. Nous désignerons par ergostérol B l'isomère 145° F et par iso-ergostérol B la variété 145°.

Un deuxième isomère de l'ergostérol est obtenu par irradiation ultraviolette. Nous avons montré, dans un mémoire publié ailleurs, quelles sont les conditions optima d'irradiation et quelles sont les précautions à prendre pour éviter que l'isomérisation de l'ergostérol soit suivie d'oxydation.

Pour établir les relations de structure entre l'ergostérol irradié (Vitamine D) et l'ergostérol A, nous en avons étudié les spectres d'absorption ultraviolets.

En étudiant l'évolution des courbes, on observe que l'intensité d'absorption diminue progressivement et que la base s'étale vers le visible pour fournir un spectre qui présente, comparé à celui de l'ergostérol, les mêmes analogies observées pour les ergostérols B et pour un grand nombre d'isomères géométriques aliphatiques étudiés en collaboration avec P. Bruylants et ses élèves.

[1] La présente note résume les mémoires publiés dans le *Bulletin de l'Académie Royale de Médecine* (séance du 21 décembre 1929 et séance de juin 1930).

Nous avons montré ainsi que l'ergostérol irradié est un isomère géométrique du stérol de base; nous le dénommerons donc iso-ergostérol A.

2° *Produits de réduction.*

L'alcoolate sodique sature une des trois liaisons éthyléniques de l'ergostérol et forme un dihydro-ergostérol 178° F. (Windaus). Lorsqu'on substitue à l'alcool éthylique de l'alcool amylique, on obtient à côté du dihydro-ergostérol de Windaus un produit fondant à 208-209°.

L'analyse de ces deux dérivés et l'étude comparative de leurs courbes d'absorption montrent qu'il s'agit de nouveau d'isomères géométriques. Nous appelons la variété 208° F. le dihydro-ergostérol A et l'autre variété 178° F. l'iso-dihydro-ergostérol A. Ces deux dérivés ne se laissent plus réduire davantage et ne subissent aucune isomérisation par l'acide chlorhydrique contrairement à ce qu'affirme Heilbron.

Nous avons aussi essayé en vain de réduire les ergostérols B : le produit de réduction décrit par Heilbron n'existe pas.

Enfin, nous avons montré, que par réduction très énergique les ergostérols A et ergostérols B fournissent un mélange d'ergostanes et d'ergostènes isomères.

Il résulte de cette étude que l'ergostérol et ses composés forment avec grande facilité des isomères géométriques ; dès lors, on peut se demander en quoi ces isomères se distinguent.

On sait que l'ergostérol forme un complexe avec le digitoside tandis que la vitamine D n'est plus précipitable par ce réactif ; or, il a été prouvé que c'est à la position stérique du groupement alcoolique que les stérols sont redevables de réagir ou non avec le digitoside. Nous avons démontré d'autre part que l'un des isomères géométriques de l'ergostérol B et du dihydro-ergostérol A se transforme dans l'autre variété par acétylation et saponification de l'acétate. Nous pouvons en conclure que c'est à la position stérique particulière du groupement alcoolique secondaire qu'est due la faculté d'isomérisation de l'ergostérol et de ses dérivés.

LES COEFFICIENTS DE TEMPÉRATURE DE CERTAINES ÉLECTRODES DE RÉFÉRENCE

par Paul PUTZEYS.

(Laboratoire de Chimie physiologique de l'Université de Louvain.)

La détermination d'un potentiel d'électrode consiste à mesurer la différence de potentiel d'une chaîne électrolytique formée de l'électrode étudiée et d'une électrode de référence dont on connaît le potentiel vis-à-vis de l'électrode normale d'hydrogène. On abandonne de plus en plus l'usage de l'électrode de calomel comme électrode de référence à cause de l'incertitude qui règne sur son potentiel si elle n'est pas exempte d'air (1). Elle reste une excellente électrode de travail dont on établit le potentiel par comparaison avec une électrode de référence.

Comme telles, les électrodes d'hydrogène présentent l'avantage d'être bien définies, simples et faciles à reproduire. On les utilise avec comme liquide d'électrode soit de l'acide chlorhydrique décinormal, soit une solution centinormale en acide chlorhydrique et neuf centièmes normale en chlorure de potassium (2).

Le potentiel de la première est connu à 25° (1). Celui de la seconde à 18° (2). L'usage de ces électrodes est limité par le fait que leur coefficient de température n'est pas connu avec certitude. La présente note a pour but de combler cette lacune.

Coefficient de température de l'électrode 0,1 n *HCl.*

Nous avons mesuré le potentiel de l'élément :

$$\mathrm{Pt} \;\Big|\; \mathrm{H_2} \;\Big|\; \begin{matrix} 0.1\,n\,\mathrm{HCl} \\ 25°2 \end{matrix} \;\Big|\; \begin{matrix} 0.1\,n\,\mathrm{HCl} \\ t° \end{matrix} \;\Big|\; \mathrm{H_2} \;\Big|\; \mathrm{Pt}$$

L'appareil est semblable à celui décrit par Linderstróm-Lang (3).

L'hydrogène barbotte successivement à travers les deux récipients. Les électrodes sont des lames de platine dorées puis recouvertes de noir de platine ou de palladium. Seules les électrodes qui dans des conditions identiques de récipient, de solution et d'hydrogénation n'ont pas montré de différence de potentiel supérieure à 0,1 millivolt ont été utilisées. On a

(1) Randall, L. E. Young, *J. Am. Chem.*, **50**, 989 (1928).

(2) S. P. L. Sórensen, K. Linderstróm-Lang, *Comptes rendus Carlsberg*, 15, n° 6 (1924).

(3) Linderstróm-Lang, *Comptes rendus Carlsberg*, **16**, n° 3 (1925).

ainsi choisi deux électrodes platinées numérotées 1 et 2, et deux électrodes palladiées numérotées 4 et 5.

Avant et après chaque série de mesures, tout l'appareil est plongé dans le thermostat à 25°,2 jusqu'à constance de potentiel ; la moyenne de ces déterminations est notée dans les tables dans la colonne marquée e_1 et les mesures ont été corrigées de cette différence de potentiel résiduel.

Cette correction est la somme de deux termes :

1° Le potentiel résiduel dû à l'état des électrodes elles-mêmes ;

2° Le potentiel dû à la pression hydrostatique qu'exerce sur l'hydrogène du récipient à 25° la colonne liquide du récipient à $t°$. Cette colonne liquide a environ 5 cm. de hauteur et peut donc causer une différence de potentiel de 0,06 millivolts. Ces deux erreurs sont corrigées en même temps par e_1 ; on peut écarter la seconde en hydrogénant séparément les deux électrodes mais on s'expose ainsi à des différences d'hydrogénation que nous craignions davantage.

Le courant d'hydrogène n'est interrompu pendant toute la durée des expériences que pendant les deux ou trois minutes nécessaires pour faire quelques lectures au potentiomètre. La moyenne des deux ou trois premières lectures ne différant pas de plus d'un dixième de millivolt est notée dans les tables dans la colonne marquée E.

Les deux électrodes à températures différentes ont évidemment des tensions de vapeur différentes. La correction calculée est notée dans les tables sous e_2.

TABLEAU I

Electrode 0,01 n *HCl.*

Electrodes	t°	E	e_1	e_2	E cor
1 - 2	14°25	3.37	— 0.02	— 0.22	3.17
1 - 2	14°34	3.22	— 0.02	»	3.02
1 - 2	13°98	3.34	0.07	»	3.19
1 - 2	»	3.32	»	»	3.17
4 - 5	»	3.53	0.11	»	3.42
1 - 2	32°49	2.31	0.07	+ 0.22	2.60
1 - 2	»	2.31	0.07	»	2.60
4 - 5	»	2.48	— 0.08	»	2.62
4 - 5	»	2.39	— 0.08	»	2.53
4 - 5	»	2.39	— 0.08	»	2.53
1 - 2	»	2.26	0.07	»	2,55
1 - 2	»	2.39	0.07	»	2.68
1 - 2	»	2.31	0.07	»	2.60
1 - 2	40°86	5.26	— 0.06	+ 0.65	5.85
1 - 2	»	5.26	— 0.06	»	5.85
4 - 5	»	5.42	— 0.06	»	5.97
4 - 5	»	5.40	— 0.06	»	5.95

Les thermostats ont présenté des fluctuations régulières de température sur 0°,2 environ ; ces fluctuations se répétaient en l'espace de quelques minutes, de sorte que l'on peut considérer que l'électrode se trouvait à la température moyenne qui était d'ailleurs remarquablement constante.

Electrode 0,01 n *HCl+0,09* n *KCl.*

Les coefficients de température de cette électrode ont été établis de la même façon que les précédents.

TABLEAU II

Electrode 0,01 n *HCl, 0,09* n *KCl.*

Electrodes	t^0	E	e_1	e_2	E_{cor}
1 - 2	13°98	4.00	0.06	— 0.22	3.84
1 - 2	»	3.98	0.06	»	3.82
4- 5	13°97	4.09	— 0.05	»	3.82
4 - 5	»	4.12	— 0.05	»	3.85
1 - 2	13°85	4.14	0.09	»	3.92
1 - 2	32°27	2.77	— 0.06	+ 0.22	2.93
1 - 2	»	2.77	— 0.06	»	2.93
4 - 5	»	2.73	— 0.05	»	2.90
4 - 5	»	2.79	— 0.05	»	2.96
1 - 2	40°86	6.35	— 0.06	+ 0.65	6.94
1 - 2	»	6.32	— 0.06	»	6.91
4 - 5	»	6.39	— 0.11	»	6.93
4 - 5	»	6.53	— 0.11	»	7.07

Nos résultats peuvent se résumer par les formules d'interpolation suivantes :

Electrode 0,1 *n* HCl :

$$E_t - E_{25} = 0{,}334\,(t - 25) + 0{,}00279\,(t - 25)^2$$

Electrode 0,01 *n* HCl+0,09 *n* KCl:

$$E_t - E_{25} = 0{,}391\,(t - 25) + 0{,}00335\,(t - 25)^2.$$

Utilisées aux températures les plus basses atteintes dans ces expériences l'écart entre les valeurs trouvées et calculées est de 0.14 millivolts. Entre 18° et 40°, l'écart est de l'ordre du centième de millivolt.

Le signe de la valeur trouvée indique si l'électrode à t° est positive ou négative vis-à-vis de l'électrode à 25°.

LE DOSAGE POTENTIOMÉTRIQUE DES COMPOSÉS RÉAGISSANT AVEC L'IODOMERCURATE POTASSIQUE

par Louis MARICQ

Assistant à l'Université de Bruxelles

L'iodomercurate potassique constitue, comme on sait, la base de différents réactifs qui peuvent être ramenés à deux types :

a) l'iodomercurate en solution neutre ou acide, utilisé pour la précipitation des alcaloïdes (Mayer, Valser), des albumines, albumoses et peptones (Tanret) ;

b) l'iodomercurate en solution alcaline, employé pour la caractérisation de l'ammoniaque (Nessler) ainsi que de diverses substances réductrices, telles que les sucres (Sachsse) et les aldéhydes (Crismer). Certains de ces réactifs ont été préconisés par leurs auteurs pour la réalisation de procédés de dosage, mais — à part le réactif de Nessler — ils ont été adoptés principalement en vue de la recherche qualitative.

Les essais de détermination quantitative ont été repris au cours de ces dernières années et appliqués au dosage des aldéhydes (Bougault et Gros), des alcaloïdes (Jonesco-Matiu, Debreuille), du sucre sanguin (Baudouin et Lewin), du lactose et de quelques polyols (Fleury et Marque). Aucune de ces méthodes ne s'appuie sur une réaction définie et complète ; toutes nécessitent l'étalonnage empirique des liqueurs titrées au moyen d'une solution-type de la substance à doser. L'intérêt qu'elles présentent est néanmoins suffisant pour justifier la continuation de leur étude.

D'une façon générale, leur technique consiste à faire réagir l'iodomercurate sur le composé à analyser, puis à déterminer le mercure entraîné dans le précipité complexe (alcaloïdes) ou réduit à l'état métallique (sucres, etc.). Il ne semble pas que l'on ait tenté de mesurer, au contraire, l'excès de réactif, mode opératoire qui paraît indiqué puisque la présence d'un excès est indispensable à la bonne marche de la réaction. Il est vrai qu'il n'existait aucun procédé volumétrique permettant le dosage simple et rapide de l'anion iodomercurique, et susceptible d'être appliqué à la microanalyse. Il convenait donc de s'attacher, en premier lieu, à la mise au point d'un tel procédé qu'il nous a été possible de réaliser en faisant appel à l'électrotitrimétrie (1).

Une électrode de mercure (constituée par un fil de platine amalgamé électrolytiquement), plongée dans une solution neutre ou légèrement acide d'iodomercurate potassique, prend un potentiel négatif d'environ 0,1 volt par rapport à une électrode de référence au calomel-chlorure potassique

normal. Si l'on ajoute progressivement une solution de chlorure mercurique, l'iodomercurate se transforme en iodure mercurique peu soluble,

$$HgI_4^{--} + Hg^{++} \longrightarrow 2\ HgI_2$$

et le potentiel s'annule, change de signe, puis prend brusquement une notable valeur positive dès que l'on a versé le moindre excès de chlorure mercurique. On dispose ainsi d'un véritable virage, se produisant exactement au terme de la réaction indiquée. L'iodure mercurique inclus dans l'anion HgI_4^{--} reste étranger à l'opération et tout se passe comme si l'on traitait l'anion iode par le cation mercurique. Le dosage est particulièrement commode et rapide en utilisant, pour la mesure de la différence de potentiel entre les deux électrodes, le système à lecture continue — dérivé du dispositif de Treadwell et Weiss — sur lequel nous avons attiré l'attention précédemment ; les manœuvres se bornent alors aux affusions de liqueur titrée et à l'observation d'un spot galvanométrique (2).

L'étude du dosage des alcaloïdes, entreprise ensuite, nous a montré, dès les premières expériences effectuées sur la morphine (3), la supériorité d'un réactif iodomercurique ne renfermant pas d'iodure potassique en excès, ce qui confirme les constatations faites antérieurement par divers auteurs et, notamment, par Valser. Nous avons adopté un réactif constitué par une solution 0,025 normale d'iodure potassique, saturée d'iodure mercurique. Il est étalonné au moyen d'une solution 0,005 normale de chlorure mercurique.

Un excès connu du premier réactif est ajouté à la solution légèrement acide du sel d'alcaloïde et, après filtration du précipité, on titre potentiométriquement, dans une portion aliquote du filtrat, l'iodomercurate restant. La séparation du précipité d'iodomercurate d'alcaloïde est indispensable : le dosage effectué sur le mélange non filtré restitue le nombre de centimètres cubes correspondant à l'étalonnage initial. Le complexe organo-métallique est donc facilement décomposé par le chlorure mercurique. Il s'ensuit que la filtration doit être efficace et elle ne l'est réellement que si l'on a soin d'agglomérer par agitation le précipité qui se présente généralement, lors de sa formation, en particules amorphes d'une ténuité extrême.

Le procédé de Jonesco-Matiu fournit des précipités d'iodomercurates d'alcaloïdes se rapprochant sensiblement, par leur composition, des types I et III d'iodomercurates cristallisés préparés et décrits par François et Blanc. L'écart est cependant trop prononcé pour que l'on puisse établir le calcul d'après une relation stoechiométrique et l'on est obligé de recourir à l'étalonnage empirique des solutions. Le dosage potentiométrique, au contraire, s'effectue rigoureusement suivant une équation correspondant à la formation de l'un ou l'autre des quatre types d'iodomercurates cristallisés,

$$\text{I.} — (HgI_2)_2 . A . HI\ ; \quad \text{II.} — HgI_2 . A . HI\ ;$$
$$\text{III.} — (HgI_2)_3 . (A . HI)_2\ ; \quad \text{IV.} — HgI_2 . (A . HI)_2$$

dans lesquels A représente une molécule d'alcaloïde monobasique. De plus, le titrage n'intéressant en aucune façon les molécules d'iodure mercurique,

ces quatre types se confondent. On se trouve donc amené à considérer uniquement des iodhydrates d'alcaloïdes et les coefficients peuvent être calculés, pour chacun d'eux, en tenant compte du poids moléculaire et de la mono- ou de la bibasicité. Ces déductions, tirées de nos expériences sur la morphine, se sont parfaitement vérifiées pour la codéine, la narcotine, la strychnine, la brucine, la cocaïne et la quinine (4) ainsi que pour l'hyoscyamine et l'atropine (*). Le pyramidon (*) se dose également suivant l'équation générale, applicable aux alcaloïdes.

La méthode permet la détermination de quantités de substance de l'ordre du centigramme avec une approximation d'environ 1 %. Le dosage de la morphine dans l'extrait d'opium exige à peine une demi-heure. Il est vraisemblable que différentes amines, dont les iodomercurates cristallisés ont été préparés par François, Burdinat, Jamieson et Wherry, puissent être titrées potentiométriquement d'une manière analogue : c'est ce que nous nous proposons de vérifier ultérieurement.

Si l'on passe du milieu acide au milieu alcalin, il devient possible d'exécuter, moyennant quelques modifications opératoires, le dosage des composés réducteurs, parmi lesquels nous avons principalement étudié, jusqu'à présent, le glucose. Un excès connu de réactif iodomercurique est ajouté à la solution à analyser. On alcalinise convenablement le mélange, on chauffe au bain-marie puis, après refroidissement et acidification légère, on titre par le chlorure mercurique. La présence du mercure réduit ne gêne aucunement. La réduction intéressant uniquement l'iodure mercurique inclus dans la molécule d'iodomercurate, on retrouve le nombre de centimètres cubes de chlorure mercurique utilisés lors de l'étalonnage des réactifs, augmenté d'une certaine quantité correspondant à l'iode primitivement combiné au mercure.

Les résultats obtenus par Baudouin et Lewin, au moyen d'un procédé comportant la détermination iodométrique du mercure réduit, montrent que — dans les conditions fixées par eux — l'oxydation d'une molécule de glucose nécessite environ 2,23 atomes d'oxygène. Il s'agit là, probablement, d'une réaction incomplète. Nous trouvons, par contre, une consommation de 2,49 atomes, ce qui paraît plus plausible et concorde avec le chiffre 2,5 constaté par Fehling ainsi que par d'autres auteurs au cours de l'étude de la réduction des réactifs cuproalcalins.

La réaction est indépendante dans une large mesure, de la durée du chauffage et le poids de sucre à doser peut varier dans des limites très suffisantes sans que la proportionnalité soit affectée. Les erreurs observées lors du dosage de quantités de l'ordre du milligramme n'atteignent généralement pas 1 %.

L'adaptation au dosage de quantités plus petites est aisée : le réactif iodomercurique précédent est dilué au cinquième et la solution de chlorure mercurique, dont la concentration 0,005 normale est maintenue, est versée à l'aide d'une microburette capable de mesurer le centième de centimètre

[1] Résultats inédits, à publier prochainement.

cube. L'approximation est encore de 1 à 2 % si l'opération est conduite avec le soin voulu. La méthode ainsi modifiée peut être utilisée pour la détermination du sucre sanguin, à condition d'opérer la défécation au moyen de substances convenablement choisies.

La défécation au nitrate mercurique exige, avant l'exécution du dosage, une démercurisation absolument complète. Lorsqu'elle est imparfaite, les ions Hg^{++} présents dans le liquide déféqué réagissent avec l'iodomercurate et il en résulte des erreurs considérables.

L'acide tungstique est d'un emploi bien plus commode car il est sans action aucune sur les opérations ultérieures ; on obtient un filtrat susceptible d'être soumis directement au dosage, sans manipulations supplémentaires. La technique de Folin et Wu nous a donné entière satisfaction. Les résultats présentent une bonne concordance et l'on retrouve, avec une erreur de 1 à 2 %, les quantités de glucose ajoutées au sang. Les détails de ces essais seront publiés prochainement.

BIBLIOGRAPHIE

(1) *Bull. Soc. chim. Belg.*, **38**, 259 (1929).

(2) *Ibid.*, **37**, 241 (1928).

(3) *Ibid.*, **38**, 265 (1929) et *Journal Pharm. Belg.*, **11**, 517 (1929).

(4) *Bull. Soc. chim. Belg.*, **38**, 426 (1929).

OBSERVATIONS EXPÉRIMENTALES SUR L'EMPLOI DES ÉLECTRODES D'ANTIMOINE

Note préliminaire par H. VOGELS,

Assistant à l'Université de Bruxelles

La méthode classique de mesure du p_H par voie électrométrique nécessite la mise en œuvre d'une électrode à hydrogène. C'est en effet la seule électrode à gaz suffisamment réversible. Elle ne peut toutefois servir dans tous les cas ; ainsi en milieu oxydant elle fournit des résultats erronés. D'autre part elle est très sensible à l'action d'une impureté dans l'hydrogène et exige pour son emploi de nombreuses précautions.

Un premier perfectionnement a été la création de l'électrode à quinhydrone, ne nécessitant pas de gaz et prenant très rapidement son potentiel stable. L'électrode à quinhydrone présente néanmoins un grave inconvénient : son emploi se limite aux milieux acides ou très faiblement basiques ; au delà de p_H 8 on ne peut plus obtenir de résultats, la force électromotrice s'inversant et la quinhydrone s'oxydant rapidement.

Il était donc intéressant de chercher à réaliser une électrode sans gaz et pouvant donner des indications même en milieu alcalin : Uhl et Kastranek (1) en 1923 puis Kolthoff et Hartong (2) en 1925 ont décrit une électrode à antimoine. D'après ces derniers auteurs, la concentration des ions Sb^{+++} définissant le potentiel de l'électrode serait liée par une fonction simple à la concentration en ions H^+. Le potentiel de cette électrode serait une fonction linéaire du p_H qui aurait le même coefficient angulaire que celle relative à l'électrode à hydrogène (0,058 à 19°,5). Les mesures de p_H de Kolthoff conduisent aux équations suivantes :

$E = 0,0415 + 0,0485\ p_H$ entre p_H 1 et 5 à 14° ;
$E = 0,009 + 0,0536\ p_H$ au-dessus de p_H 9 à 14°

Les résultats pratiques sont donc assez éloignés des prévisions théoriques.

Deux auteurs américains, Roberts et Fenwick (3) en 1928, ont montré l'influence de la forme cristalline de Sb^2O^3, la forme stable, à basse température étant cubique tandis que celle obtenue par hydrolyse de $SbCl^3$ est orthorhombique et instable. Ils ont notamment montré que l'élément suivant fournit une force électromotrice de 13,2 mV.

Sb | Sb^2O^3 orthorhombique | Sb^2O^3 cubique | Sb

D'autre part, ils soulignent le fait que l'air ou l'oxygène dissous ont une action perturbatrice. Ils conseillent de traiter, avant une mesure, l'électrode de Sb par une solution plus alcaline : on obtiendrait ainsi des précisions de l'ordre de 0,01 unité de p_H.

Franke et Willaman (4) à la même époque ont étudié l'électrode à antimoine en rapport avec son application au contrôle du p_H dans la fabrication de la pâte à papier. D'après eux :

$$E = 0{,}052 + 0{,}0536\ p_H .$$

Enfin Shukoff et Awsejewitsch (5) ont publié en 1929 une étude dans laquelle ils indiquent la préparation d'une électrode par dépôt électrolytique de Sb sur du platine amalgamé. Cette électrolyse se fait dans une solution de $SbCl^3$ à 25 % dans l'acétone sec. Ils trouvent :

$$E = 0{,}009 + 0{,}053\ p_H .$$

L'électrode de Shukoff aurait l'avantage d'être plus stable que les baguettes d'antimoine utilisées par les auteurs cités plus haut ; mais elle est encore sensible à l'action de l'agitation.

En raison des divergences de vues des différents expérimentateurs, il nous a paru intéressant de reprendre certains de leurs essais.

Dans une première série de mesures, nous avons, sur les conseils de M. le professeur Dony-Hénault, cherché à définir le potentiel d'une électrode d'antimoine par rapport aux solutions de différents électrolytes, afin de déterminer si l'instabilité de ces électrodes n'était pas due à des phénomènes de passivité.

Nous avons utilisé à cet effet des bâtonnets d'antimoine préparés en aspirant de l'antimoine fondu dans un tube de verre préalablement chauffé ; on obtient ainsi des baguettes bien lisses et exemptes de pores. Kastranek indique que de l'antimoine fondu à l'air contient une petite quantité de Sb^2O^3 indispensable pour définir l'équilibre entre les ions H^+ et Sb^{+++}. En laissant refroidir lentement, nous nous sommes placé dans des conditions favorables pour la formation de Sb^2O^3 cubique stable à basse température.

Toutes les mesures que nous avons faites nous ont montré l'extrême sensibilité du potentiel au moindre mouvement relatif de l'électrode et du liquide, l'agitation ayant toujours pour effet de diminuer la force électromotrice (Sb est négatif par rapport à l'électrode normale au calomel) c'est-à-dire de rendre l'électrode Sb plus positive. Au cours de ces essais, nous avons comparé de l'antimoine de fabrication belge, gracieusement mis à notre disposition par la Compagnie Métallurgique de la Campine à Beersel (Anvers) à de l'antimoine chimiquement pur de Kahlbaum. Nous avons pu constater que l'antimoine belge se comporte au point de vue électrochimique exactement comme l'antimoine allemand.

Nous avons alors étudié l'influence des deux ions ClO^{3-} et Fl^-. Voici qualitativement les conclusions que nous en avons tirées : L'addition de chlorate a pour effet de rendre l'électrode plus positive (par exemple une addition de 0,1 gr. de $KClO^3$ à 50 cc. de solution-tampon a produit une diminution de f. é. m. de 8 mV.).

L'addition de fluorure rend l'électrode plus négative (0,2 gr. NaFl accroissent la f. é. m. de 42 mV.).

Lorsque l'on fait croître les quantités de chlorate ou de fluorure, il

semble que le potentiel tende vers une limite. Nous nous proposons d'étudier ultérieurement ce phénomène plus en détail.

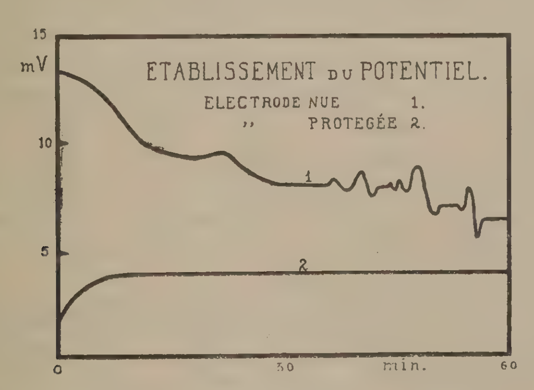
Afin de nous expliquer ces faits, nous avons procédé à l'expérience suivante : A des quantités égales d'une solution limpide de nitrate antimonieux dans de l'acide nitrique concentré, nous avons ajouté des volumes égaux d'eau, de solution de chlorate à 10 gr/l et de solution de fluorure à 4 gr/l L'eau a produit une opalescence due à l'hydrolyse, le chlorate a provoqué une précipitation en gros flocons tandis que la solution fluorurée est restée parfaitement limpide. La littérature indique en effet que $SbFl^3$ n'est pas décomposé par l'eau ; certains auteurs attribuent ce fait à une très faible ionisation ; cette ionisation nous paraît toutefois beaucoup plus considérable que celle des hydrates. A notre connaissance il n'a pas été publié de travaux à ce sujet.

Des expériences ci-dessus on peut déduire que l'hydrolyse rétrograde par l'addition de fluorure et que le chlorate diminue la concentration en ions Sb^{+++}. La formule de Nernst donne :

$$E = E_0 - A \cdot \log [Sb^{+++}] \qquad (^1)$$

qui montre que le fluorure doit diminuer E tandis que le chlorate doit l'accroître.

L'action de l'agitation peut alors s'expliquer comme suit : au repos il se forme à la surface du métal une couche d'ions Sb^{+++} et l'électrode prend un potentiel qui dépend de la concentration de Sb^{+++} dans cette couche. On peut admettre qu'il s'établit un équilibre entre la formation de Sb^{+++} au dépens du métal et la diffusion de ces ions. Un mouvement relatif de l'électrode et du liquide aura pour effet de diminuer la concentration en



ions Sb^{+++} agissant dans le même sens que le chlorate. C'est bien ce que l'on observe.

Dans ces conditions, il semble que l'instabilité d'une électrode d'antimoine puisse être attribuée à des variations de concentration de Sb^{+++} dues aux mouvements de convection du liquide. S'il en est ainsi, on doit pouvoir stabiliser le potentiel en entourant l'électrode d'une paroi perméable aux ions mais empêchant les mouvements rapides de ceux-ci au voisinage de l'électrode. Nous avons vérifié ce fait en déposant sur la surface du métal

une couche très mince de collodion. Les résultats furent conformes à nos prévisions : après une courte période d'établissement (5 à 15 minutes) le potentiel prend une valeur stable à environ 0,2 mV. près. Les légères fluctuations que l'on constate sont en tous cas extrêmement lentes. Nous avons pu observer certaines de nos électrodes pendant plus d'une heure ; de plus la reproductibilité des résultats est également très satisfaisante.

L'électrode protégée n'est pas insensible à l'agitation : elle devient plus positive comme électrode nue ; on peut attribuer ceci au fait de petites imperfections de la membrane de cellulose. Mais, dès que le mouvement cesse, on voit le potentiel regagner exactement sa valeur initiale.

D'autre part, si on laisse une pareille électrode pendant plusieurs heures en observation, on constate un fléchissement nettement accusé du potentiel, la diminution étant lente et progressive. Si à ce moment on agite la solution, après la première déflexion vers des potentiels plus positifs, on constate que l'électrode reprend à quelques dixièmes de millivolt près le potentiel du début de l'expérience.

L'équilibre qui définit le potentiel est :

$$Sb^2\ O^3 + 6\ \overset{+}{H} \rightleftharpoons 2\ Sb^{+++} + 3\ H^2O \qquad (^2)$$

d'où on tire $$[Sb^{+++}] = k\ [Sb^2\ O^3]^{1/2}\ [\overset{+}{H}]^3 \qquad (^3)$$

On a encore d'après Milbauer et Slemr (6) :

$$2\ Sb + \frac{2}{3}\ O^2 \rightleftharpoons Sb^2\ O^3 \qquad (^4)$$

l'oxygène qui intervient dans l'équation (^{4}) étant l'oxygène dissous. Le potentiel restera fixe tant que le terme $[Sb^2 O^3]$ restera constant c'est-à-dire tant qu'il restera du $Sb^2 O^3$ solide ou que en vertu de (^{4}) il parviendra suffisamment d'oxygène à l'électrode. L'agitation aura précisément pour effet de renouveler les couches de liquide appauvries en oxygène et doit donc rétablir momentanément le potentiel. D'après French et Kahlenberg (7) la membrane de cellulose ne gêne en aucune façon la diffusion des gaz dissous.

Pour terminer ces quelques observations, nous citerons les résultats que nous avons obtenus en appliquant l'électrode d'antimoine à des mesures de p_H. L'élément était constitué comme suit :

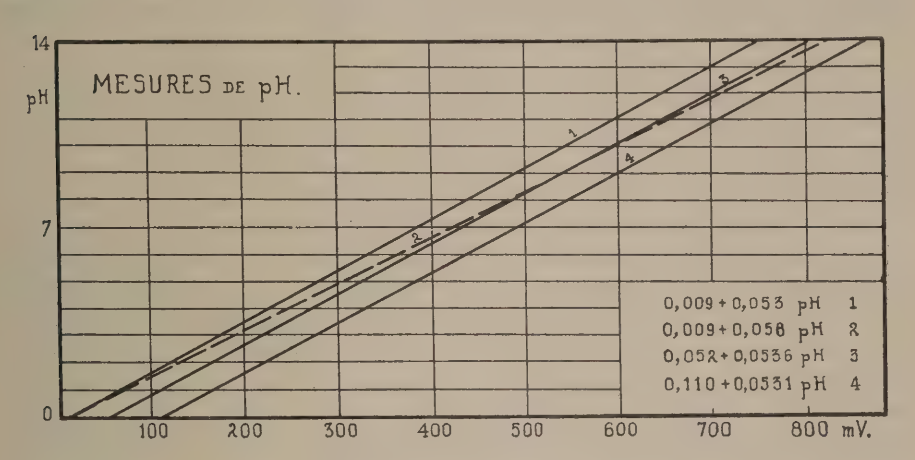
Sb protégé | tampon | Electrode normale au calomel.

Il a fourni la relation :

$$E = 0{,}110 + 0{,}0531\ p_H \quad \text{à } 19°{,}5 \text{ en présence d'air.}$$

Il est à remarquer que tous les auteurs ayant opéré en présence d'air trouvent un coefficient angulaire (ramené à 19°,5) compris entre 0,52 et 0,54, tandis que Roberts et Fenwick ont observé 0,058 (coefficient théorique) en l'absence d'air et avec $Sb^2 O^3$ cubique.

Pour ce qui est de l'ordonnée à l'origine, elle semble varier suivant la nature des ions contenus dans la solution tampon utilisée. Ce fait paraît devoir exclure l'utilisation de l'électrode d'antimoine à moins de l'étalonner dans des solutions de même nature que la solution étudiée. Nous nous proposons d'autre part d'examiner la possibilité de ramener tous les tampons à une même force électromotrice initiale.



Dans cette communication préliminaire, que nous comptons compléter prochainement par de nouvelles expériences, nous avons voulu montrer que l'application de l'électrode d'antimoine à des mesures régulières et précises, nécessite encore un sérieux complément d'information.

Il me reste un agréable devoir de reconnaissance à remplir en remerciant M. le professeur Dony-Hénault des conseils éclairés qu'il a bien voulu me donner au cours de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

(1) UHL und KASTRANEK, *Monatschr. Chem.*, **44**, 29 (1923).
(2) KOLTHOFF and HARTONG., *Rec. Trav. Chim. Pays-Bas*, **44**, 113 (1925).
(3) ROBERTS and FENWICK, *J. Amer. Chem. Soc.*, **50**, 2143 (1928).
(4) FRANKE and WILLAMAN, *J. Ind. Eng. Chem.*, **20**, 87 (1928).
(5) SHUKOFF und AWSEJEWITSCH, *Zeits. Elektr. Chem.*, **35**, 349 (1929).
(6) MILBAUER et SLEMR, *Chem. Listy*, **20**, 392 (1926).
(7) FRENCH and KAHLENBERG, *Amer. Electr. Chem. Soc.*, 223 (1928).

Voir aussi :

SNYDER, *Soil Science*, **26**, 197 (1928).
BRINKMAN und BUYTENDYK, *Biochem. Zeits.*, **199**, 387 (1928).
THIEL und SCHULZ, *Zeits. Elektr. Chem.*, **36**, 408 (1930).

SUR L'ACTIVITÉ DES LABORATOIRES DE CHIMIE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES DE L'UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES ET SUR LE MÉCANISME DE LA RÉDUCTION DE L'OXYDE DE ZINC

par Oct. DONY-HÉNAULT,

Professeur à l'Université de Bruxelles

L'enseignement et les laboratoires de chimie de la Faculté des sciences appliquées de l'Université libre de Bruxelles sont aujourd'hui exclusivement suivis par les aspirants aux brevets d'ingénieur de cette Faculté ; ils sont consacrés à la chimie générale et à la chimie appliquée. La part de la chimie organique y est donc nécessairement réduite [1] ; en revanche, nous nous efforçons de développer avec la collaboration de forces plus jeunes que les nôtres l'enseignement physicochimique : l'optique expérimentale, l'optique physicochimique et la physicochimie des colloïdes [2], viennent dès à présent compléter les travaux de chimie générale — de même l'électrochimie sous son aspect théorique et dans ses applications.

Stimulé par celui qui, avec M. Reychler doit partager aujourd'hui le décanat de la chimie belge et le privilège d'avoir encouragé l'essor de la physicochimie belge à ses débuts, M. Léon Crismer, dont nous regrettons l'absence à cette réunion, nous avons eu la chance d'organiser en Belgique à l'Ecole des Mines de Mons, en 1903, le premier laboratoire d'enseignement régulier d'électrochimie, avec l'appui du directeur de cette Ecole à cette époque, Auguste Macquet.

Mais, étant donné l'objectif pratique des études d'ingénieur, nos efforts doivent s'orienter surtout vers la chimie appliquée, et à cet égard, nous croyons que la chimie industrielle descriptive doit se muer progressivement en un enseignement de physicochimie appliquée ; c'est donc vers celle-ci que nous avons tâché de diriger ceux de nos élèves à qui la chimie inspirait de l'attrait ; nous avons la satisfaction qu'un certain nombre des meilleurs d'entre eux lui sont restés fidèles.

Si nous croyons fermement que la chimie appliquée doit faire appel aux méthodes scientifiques, nous croyons tout aussi fermement que les méthodes scientifiques peuvent s'apprendre et s'essayer dans la pour-

[1] M. Gilta, chef des Travaux, a consacré une large part de son effort à l'étude cristallographique des dérivés arsiniques et de leurs sels (*Bull. Classe des Sciences Acad. royale*).

[2] Les travaux de M. Jacques Errera se rattachent à cet enseignement (voir ses communications à la section de physique).

suite d'un but utile ; je me garde de dire utilitaire. De bien bons exemples nous ont été donnés de l'étranger par des maîtres dont nous admirons la fécondité.

On aurait le droit de regretter qu'en chimie inorganique, où les problèmes utiles abondent autant que font défaut nos connaissances théoriques de bien des réactions, un dilettantisme qui ne comporte en somme aucun avantage particulier repoussât parfois à l'arrière-plan les recherches d'une opportunité pressante.

Mais, nous ne voulons pas oublier que ce Congrès national est réservé à la science pure et qu'une autre réunion s'adonnera bientôt à la chimie appliquée.

Nous nous abstiendrons donc d'insister sur ce que nous avons pu faire jusqu'ici dans les laboratoires de physicochimie appliquée, nous indiquerons seulement que nous avons tenté d'y établir un contact étroit entre la chimie et la métallurgie spéciale, convaincu que celle-ci offre à l'étude et à l'investigation les meilleurs exemples de réactions inorganiques et de problèmes physicochimiques.

C'est ainsi, qu'entre autres, nous avons consacré à l'étude des réactions de la *métallurgie du zinc* — en particulier de la *métallurgie thermique* — des expériences commencées il y a quelques années déjà (1) à l'Ecole des Mines de Mons, continuées depuis dans nos laboratoires nouveaux de l'Université libre de Bruxelles (2), grâce à la Fondation généreusement dotée par M. Tournay-Solvay et à laquelle il a eu la pensée touchante de donner le nom d'Emile Tassel.

Qu'il nous soit permis de dire qu'en prononçant ici le nom d'Emile Tassel, grand ami de l'Université libre et qui fut aussi à la fin de sa vie un protecteur puis un ami pour nous, nous éprouvons avec une force égale des sentiments de reconnaissance et des sentiments de regret.

Grâce au concours des ingénieurs assistants qui sont attachés à cette Fondation, MM. C. Decroly et Litvine, nous avons pu donner récemment à ces expériences une certaine ampleur et nous espérons en donner bientôt les résultats.

Puisque nous avons peu de temps à donner à cette communication, j'emprunterai à la partie inédite de nos recherches quelques données relatives au *mécanisme de la réduction* de la blende grillée — et particulièrement au *rôle du carbone* dans la réduction.

Ai-je besoin de rappeler que le procédé liégeois de réduction consiste à chauffer dans une cornue réfractaire, raccordée à des appareils de condensation, un mélange plus ou moins intime de blende grillée et de *charbon en excès*, à une température qui s'élève parfois au-dessus de 1300°?

Le zinc est recueilli, *très lentement*, par distillation, partiellement sous forme liquide et partiellement sous forme pulvérulente.

(1) Voir Dhooghe, *Bull. Acad. royale de Belg.*, 323-336, 7 juillet 1923

(2) Il m'est agréable de rappeler ici le concours dévoué que m'apporta durant deux ans d'assistance, M. G. Paillet, ingénieur électricien et ingénieur des mines.

La réaction schématiquement peut s'écrire $ZnO + C \rightarrow Zn + CO$ mais il se produit intermédiairement de l'anhydride carbonique dont la concentration dans les gaz d'échappement va en s'abaissant à mesure que s'élève la température de la cornue ; en effet que l'on écrive :

$$ZnO + CO \rightleftarrows Zn + CO^2 \quad \text{ou} \quad 2\ ZnO + C \rightleftarrows 2\ Zn + CO^2$$

il faudra dans l'un comme dans l'autre cas que, grâce au carbone solide en excès, l'équilibre $CO^2 + C \rightleftarrows 2\ CO$ s'établisse par concomitance et c'est cette réaction réversible qui tend à déterminer la teneur en CO trouvée dans le gaz du condenseur.

Le tome 32 de la nouvelle édition du *Handbuch der anorganischen Chemie* de Gmelin, pp. 77 et suiv., donne une idée de l'abondance des travaux théoriques consacrés à ces réactions ; et de beaucoup d'entre eux on peut dire qu'ils sont souvent contradictoires ou mal concordants.

Il ne peut donc être question d'en exposer ici ne fut-ce que le résumé, mais c'est un devoir agréable pour moi de rendre un hommage particulier aux recherches de Max Bodenstein qui, dans un beau mémoire a fait à la lumière de ses propres recherches sur ce sujet, une synthèse très complète des travaux antérieurs et ordonné la question avec la maîtrise qu'on pouvait attendre de lui (¹).

En ce moment, nous nous attacherons à une seule question, celle de savoir si dans la réduction de l'oxyde zincique, c'est le carbone solide qui intervient directement pour réduire soit la vapeur de ZnO soit le ZnO solide par contact, ou si son rôle n'est pas exclusivement borné à ramener à l'état de CO, le CO^2 engendré par l'oxyde de carbone ; car ce dernier gaz (CO) est capable même à température encore basse et peu éloignée de 500°, de réduire ZnO à une vitesse appréciable encore que très faible (comme l'avait montré notamment notre élève M. Dhooghe) (*loc. cit.*).

Les arguments qui tendent à ramener au second rang l'action du carbone solide ont été très bien exposés par Bodenstein. Cependant la conviction ne paraît pas s'être encore imposée unanimement et M. Lemarchand notamment, ainsi que certains auteurs américains opinent encore pour une participation plus ou moins importante de la réaction solide. Cette discordance d'opinions vient sans nul doute de ce que dans beaucoup de ces expériences on étudie la réduction d'un mélange plus ou moins intime, de carbone et d'oxyde, et l'on conçoit que dans pareil cas il reste difficile de prouver l'absence totale de réduction directe par le carbone solide.

Remarquons cependant qu'il ne s'agit point ici d'une simple question de mots ou de sentiment ; bien au contraire, car si l'on admet que l'oxyde de carbone est le véritable agent de réduction, son agent essentiel, on entrevoit que la méthode liégeoise est peut-être susceptible d'une transformation essentielle et que le tour de main, très heureux pour l'époque, imaginé par l'inventeur liégeois du procédé, l'abbé J.-D. Dony, — le mélange de carbone solide à la blende grillée — pourrait avoir mérité

(¹) *Zeitschrift für angew. Chemie*, 7, (1924).

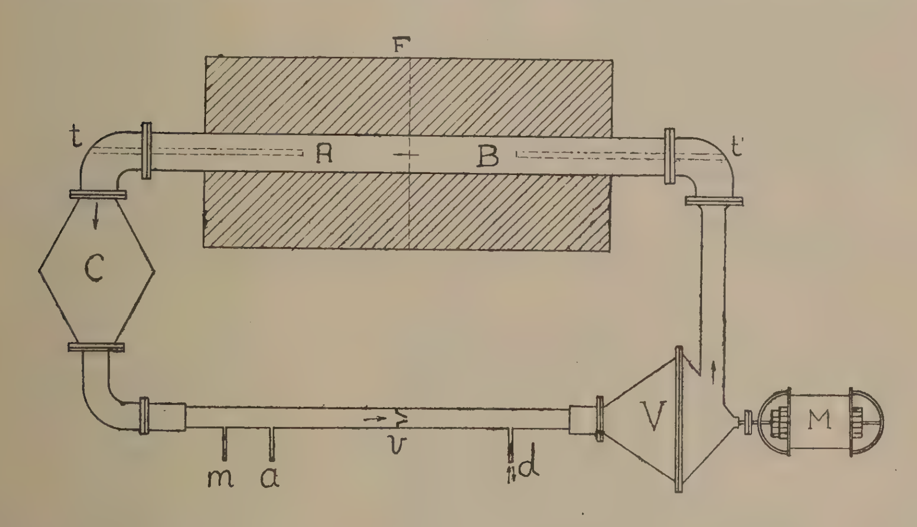
la désuétude, après cent trente ans de pratique empirique, et de céder la place à une réduction en courant gazeux régulier.

Dans des expériences publiées dans le bulletin de notre Académie royale [1], j'ai commencé par établir, à l'aide d'un four spécial tout en graphite et chauffé électriquement par un résistor intérieur de fer, petit four à trois étages qui pouvait contenir plus d'un kilogramme de blende grillée, que la vitesse de réduction de Zn O par le courant gazeux de CO dépasse notablement celle qu'atteint la réduction dans les fours industriels en présence de carbone en excès, même quand on s'arrête à des températures inférieures à 1200° et le plus souvent voisines de 1100°.

Au cours de ces expériences, on avait pu constater que la vitesse du courant de CO jouait un rôle fondamental pour fixer la profondeur de la réduction que l'on pouvait atteindre, de sorte que l'accomplissement de la réduction nécessitait, même pour les charges peu importantes, de grands volumes de gaz réducteur. Ainsi, l'on s'aperçut au cours de ces expériences que pour assurer une réduction parfaite, il faut empêcher le Zn de réagir sur le CO^2 en l'emportant par CO en excès.

Partant de là, j'ai été ainsi amené à réaliser une réduction en cycle, dans laquelle le volume initial de CO introduit et incessamment régénéré après son oxydation va incessamment en croissant, l'excès devenant disponible pour la réduction ou toute autre réaction du CO.

Le dispositif est figuré au tableau ci-joint (fig. 1) : l'appareil étanche



tout en métal comprend une zone de réduction (A) où s'introduit Zn O, une zone de condensation (C), un ventilateur (V) et une zone (B) de régénération de CO garnie de C solide. Les gaz peuvent être recueillis et analysés, la vitesse du gaz contrôlée à l'aide d'un anémomètre et les mouvements des vapeurs observés dans un canal de verre.

[1] *Bull. Acad. royale de Belg., Classe des Sciences*, **4**, 243-264 (1929).

TABLEAU I

Tableau récapitulatif des expériences en cycle gazeux

Poids de blende grillée : 200 grammes. — Durée utile : 165'

Numéro et date de l'expérience	Indications	Température moyenne		Composition moyenne du gaz		Teneurs		*Taux de réduction* Zinc extrait par rapport au total	Observations	
		en A	en B	°/₀ CO	°/₀ CO^2	maxim. en CO	minim. en CO^2			
I 2 - 12 - 1929	*Témoins ; sans circulation gazeuse*	1027°	992°	84,8	2,4	95,6	1,0	67,4	I. Pas de graphite en B	
II 3 - 12 - 1929	Z n O dans nacelle en graphite en A	1029°	1052°	82,6	—	93,2	1,7	73,7	II. Graphite concassé en B	
III 13 - 11 - 1929	Circulation du CO et réductif (graphite) dans Z n O graphite dans la région B	1040°	926°	79	10,2	87,4	1,2	93,3		La vitesse du gaz correspondra à un débit de 700 litres à l'heure.
IV 28 - 11 - 1929	idem	1039°	1012°	83	11,10	93	2,0	90,4		
V 19 - 12 - 1929	Circulation	1012°	990°	83,2	7	88,6	2,4	95,2	ZnO en A Graphite en B	idem
		en B	*en A*							
VI 4 - 1 - 1930	Absence de réductif dans la charge Nacelle en fer	1029°	1040°	84,2	9,8	87,8	7,8	77,9	le graphite est placé en A, le ZnO en B	idem
VII 13 - 1 - 1930		1040°	1047°	83,8	9,6	89	3,8	80,5	idem	idem

La mesure du gaz CO dégagé donne à chaque instant celle du zinc formé et l'on peut suivre ainsi pendant toute l'opération la marche des phénomènes. La température est relevée séparément en A et en B. Le gaz CO circule dans toutes les expériences de B vers A comme l'indiquent les flèches.

Est-il besoin de faire remarquer que dans ces expériences où la réduction est poussée très loin, le taux moyen total de réduction n'exprime pas la différence de vitesse maxima que l'on peut obtenir entre la réduction sans courant et avec courant gazeux, car dans ce cas la dernière période de réduction s'accomplit sur une charge presque dépourvue d'oxyde ?

Ce tableau fait apparaître notamment plusieurs circonstances intéressantes mais particulièrement celle-ci : c'est dans le cas de la séparation totale du carbone et de l'oxyde de zinc que dans le courant de CO la réduction a atteint le plus haut degré d'achèvement [95 %] (Expérience V). Il est donc bien prouvé qu'à une température encore basse (1040° environ), en un temps très court (2 h. 45), la blende peut être réduite par le CO sans contact du carbone solide avec une vitesse de réduction nettement supérieure à celle qui est atteinte dans les cornues belges, à des températures même notablement plus élevées.

Si donc, on ne peut prouver de façon absolue que, à température très élevée, dans une charge de carbone et d'oxyde mêlés intimement, une réduction directe par le carbone solide n'intervient pas du tout, on peut tenir pour certain que dans les conditions ordinaires de la technique et du laboratoire le rôle de la réduction directe peut être tenu pour négligeable. Il est curieux de constater accessoirement dans les expériences témoins *sans circulation gazeuse* (Expérience II) que l'influence du graphite entièrement éloigné de l'oxyde se fait sentir même dans ce cas par un mécanisme de diffusion spontanée du CO^2 vers le C et du CO vers le Zn O qui intervient pour favoriser la réduction.

On remarquera que toutes ces expériences sont exécutées à une température très voisine de 1040° seulement et non point au régime de chauffage industriel plus énergique qui atteint souvent 1300°.

Ici donc la séparation de l'oxyde métallique et du carbone est tout à fait complète ; ou bien la juxtaposition se réduit à un simple contact de la nacelle de graphite avec la couche contiguë d'oxyde de zinc qui la touche; D'autre part le CO se transporte seul vers le Zn O, et le transport de vapeurs d'oxyde de zinc est totalement exclus.

Le tableau récapitulatif sommaire ci-dessus montre donc que la réduction est non seulement beaucoup plus rapide mais aussi plus profonde quand le CO circule avec une certaine vitesse et qu'on évite la stagnation de la vapeur de zinc et sa réoxydation par l'anhydride carbonique.

Il apporte la preuve expérimentale décisive du rôle négligeable de la réduction solide de l'oxyde de zinc dans la métallurgie thermique de ce métal. A notre avis, il apporte aussi une réponse négative à la question du rôle du « carbone naissant » dans la réduction de Zn O, question qui a été introduite par Coley à propos d'un procédé de réduction nouveau de cet

oxyde par le pétrole, devant une assemblée de chimistes anglais qui ont fait à cette « théorie » un accueil plutôt froid. Nous croyons que c'est avec raison et que les mouvements des gaz réalisés par le jet énergique de combustibles liquides et de l'air carburant, suffisent à expliquer l'accélération éventuelle de la réduction dans un tel procédé. Mais nous n'avons pas le droit de discuter ici de plus près cette question technique.

En terminant, nous nous permettons encore d'indiquer que notre dispositif de réduction en cycle pourra bientôt être appliqué non plus à la pression atmosphérique mais à une pression de CO un peu plus élevée conformément aux premières observations de réduction sous pression que nous avons communiquées, il y a quelques mois, à l'Académie royale de Belgique, et que nous avons poussée à 1100° jusqu'au delà de 10 atmosphères.

SUR L'EXISTENCE D'UN ÉQUILIBRE CHIMIQUE DANS L'AUTOXYDATION

par A. GILLET,

Professeur à l'Université de Liége.

C'est par hasard, au cours de recherches sur les charbons, que nous avons observé pour la première fois l'équilibre qui fait l'objet de cette étude. Nous avions entrepris en 1928 une recherche basée sur le raisonnement suivant :

Il résulte des travaux de Bergius et de Kling et Florentin, et de leur interprétation, que l'hydrogénation de la houille à haute température est due à la coïncidence de deux réactions :

a) Décomposition thermique de la matière fondamentale de la houille ;

b) Combinaison rapide de l'hydrogène aux tronçons non saturés formés.

Or, à l'inverse de la réactivité de l'hydrogène, celle de l'oxygène sur la houille est très grande dès la température et la pression ordinaires. Il est donc probable que, dès la pression ordinaire, la température de décomposition vive de l'humine des houilles sera marquée par un accroissement brusque de la vitesse de combinaison de l'oxygène à la houille. (Voir à ce sujet les travaux de Fischer sur l'oxydation de la houille sous pression ; voir aussi les mémoires récents de Holroyd et Wheeler (*Fuel*, janvier 1930) où ces auteurs démontrent l'existence de cette « pointe » dans la vitesse d'oxydation.)

Pour mesurer cette vitesse, nous avons monté l'appareil suivant (fig. 1) :

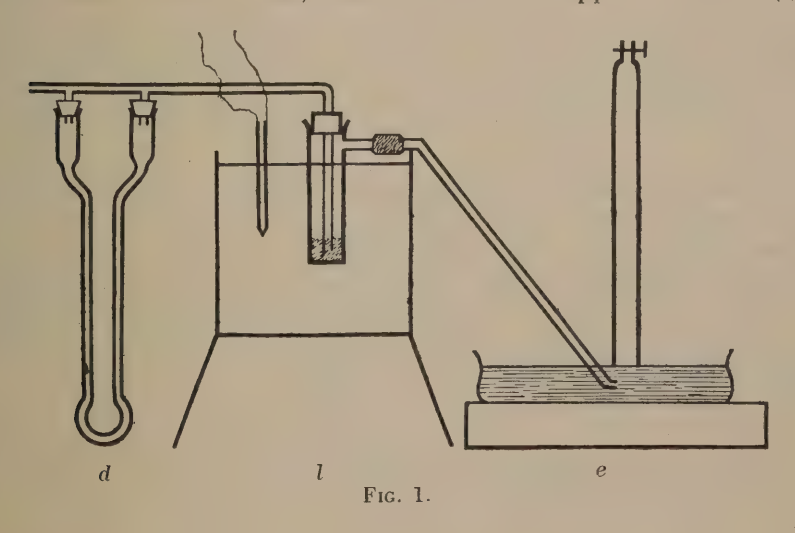


Fig. 1.

un gazomètre à oxygène ; un débitmètre *d* ; un tube laboratoire *l* chauffé dans un petit four électrique, une éprouvette à gaz *e*, un chronomètre.

Le débitmètre était étalonné par rapport à l'éprouvette à gaz, la substance étudiée était « une gelée de houille ». (On sait qu'un mélange de houille et d'huile anthracénique lourde forme au voisinage du point de fusion pâteuse de la houille un système dispersé d'apparence homogène, que nous proposons de nommer « gelée de houille » (1).)

On faisait passer dans l'appareil de l'oxygène à débit constant. On recueillait un volume constant de gaz à diverses températures. On mesurait le temps d'écoulement de ce volume V et on analysait le gaz pour : CO^2, O^2, CO, résidu ; les mesures devaient nous donner les vitesses v_a d'arrivée et v_d de sortie de l'oxygène et leur différence $v_a - v_d$, la vitesse de combinaison.

L'expérience nous montra, entre autres choses, que la soi-disant vitesse d'oxydation dépendait du débit. Mais nous nous sommes aperçu d'autre part, en comparant nos résultats d'analyses, que *la concentration* de l'oxygène dans les gaz sortants *demeurait à peu près constante quel que soit le débit*, et ce malgré le jeu compliqué des variations dans le débit de l'oxygène, la fixation de O^2, la formation de CO^2, la formation de CO. Dès ce moment nous avons fait plus de vingt expériences pour vérifier cette constance de concentration. Ces expériences duraient en moyenne trois heures chacune. Elles comportaient des mesures de débit, de temps, de poids et des dosages de gaz. (Tableaux I et II.)

Les vitesses de réaction irréversible ne sont donc pas mesurées dans les conditions de nos essais ; elles sont supérieures aux vitesses d'arrivée du gaz. Mais ce que nous observons est sous la dépendance d'un autre facteur : la fixation de l'oxygène s'arrête pour une concentration bien déterminée de cet élément dans le gaz, ce qui définit à notre avis l'existence d'un équilibre en système hétérogène :

$$A + O^2 \Longleftrightarrow A(O^2).$$

Dans ces premiers essais, la dilution de l'oxygène est due aux produits gazeux d'oxydation eux-mêmes : CO^2, CO et H^2O. Nous avons alors confirmé expérimentalement notre interprétation en vérifiant la non-oxydation du produit par l'oxygène dilué en dessous de la concentration d'équilibre (Tableau II).

La vitesse de l'oxydation résiduelle qui semble se produire encore dans ces dernières conditions avec ces substances est d'un tout autre ordre de grandeur que la vitesse de l'oxydation primaire.

Nous avons fait des essais sur la houille seule, sur l'huile anthracénique seule (Tableaux III et IV). Nous sommes également descendu dans l'échelle des températures autant que nous le pouvions avec l'appareil et la méthode primitifs (Tableaux II à IV).

Nous avons essayé l'auto-oxydation dans le même appareil d'une ma-

(1) Voir notre communication sur le sujet au 10e Congrès de Chimie Industrielle : Liége, septembre 1930 (Edit. Chimie et Industrie).

TABLEAU I

DISPERSION [HUILE ANTHRACÉNIQUE — HOUILLE] TRAITÉE PAR O^2 PUR A 350°

Résultats expérimentaux							Résultats calculés : cm^3 / minute						
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9	(10)	(11)	(12)	(13)
			Analyse du gaz de sortie ; teneur				Débits du Gaz		Débits de O^2				
Temps	Hauteur du flotteur du Rotamètre (gaz d'entrée)	Temps de remplissage de la burette de 62 cm^3 (gaz de sortie)	En CO^2	En O^2	En CO	En résidu	A l'entrée de (1)	A la sortie de (2)	A l'entrée 100 % de (7)	A la sortie de $\frac{(4) \times (8)}{100}$	O^2 combiné	O^2 combiné gazeux de : $\frac{(9) \times (8)}{100} + \frac{(5) \times (8)}{2 \times 100}$	O^2 fixé (11) — (12)
	(± 0,05)	(± 5″)	(±0,5)	(± 0,5)	(± 0,5)	(± 0,5)	(± 0,1 à 0,5)	(± 0,03)		(± 0,03)	(± 0,1 à 0,5)	(± 0,03)	(± 0,1 à 0,5)
1 h.	3,6	12′	4	75	4	17	6,0	5,2	6,0	3,9	2,06	0,31	1,75
	3,6	11′10″	6	73	4	17	6,0	5,6	6,0	4,08	1,52	0,45	1,07
	3,8	10′20″	8	74	5	13	6,5	6,1	6,5	4,5	2,00	0,63	1,37

II. — *Houille - Huile Anthracénique*

Conc O^2 entrant Temps Durées	O^2 entrant par minute	O^2 combiné par minute	Conc. % de O^2 dans les gaz sortants
98 % 350° 1 h. 1/2	6,0	2,06	*75*
	6,5	2,00	*74*
98 350° 1 h.	5,3	2,7	*75*
	17,	7,5	*75*
	31,	16,83	*74,5*
98 325 1 h. 1/2	6,	2,22	*68*
	6,4	2,28	*68*
98 300 3 h.	4,7	2,24	*63*
	7,4	3,24	*64*
	6,5	2,78	*63*
20 % 350° 3 h.	1,8	0,008	20
	3,7	0,10	19,8
71 % 350° 2 h.	4,6	0,28	73
	12,6	0,50	72

III. — *Houille seule*

98 % 350° 2 h.	5,5	4,22	27
	6,5	5,18	25
	7,7	6,11	21
	7,3	5,51	26
98 % 325° 2 h.	6,5	4,88	19
	5,6	4,7	20
	5,5	4,6	20
98 % 300° 2 h.	6,9	5,6	25
	6,2	4,52	38
	6,2	4,08	46
98 % 250° 2 h.	6,9	4,55	42
	6,5	4,09	43
	6,9	4,38	42

IV. — *Huile Anthracénique seule*

98 % 350° 1 h.	7,4	1,71	82,5
	4,7	2,24	82
	17	8,66	81
	31	10,38	82,5

V. — *Alizarine* à 380° par O^2 pur 2 h.

O^2 entrant par minute	O^2 combiné par minute	Conc. % de O^2 dans les gaz sortants
6,5	2,25	89
6,5	2,30	88
4,8	1,42	90
7,7	0,27	89
7,4	0,50	89
11,5	2,67	89
18,4	4,6	89
7,4	0,57	87

VI. — Id. id. par O^2 à 4 % 1 h. 1/2.

$6,5 \times \frac{64}{100}$	0,26	63
6,5 »	0,32	62
6,9 »	0,35	61
7,4 »	0,17	61
11,5 »	1,09	61

VII. — Id. id. O^2 à 41 % 1 heure

$6,5 \times \frac{41}{100}$	0,11	40,5
6,5 »	0,11	40,5
11,5 »	0,37	40,5
11,5 »	0,37	49,5

VIII. — *Coton* traité à 200° par O^2 pur 1 h.

6,5	4,1	43
6,5	4,1	40
17	10,7	45
17,5	7	45

IX. — *Pyrogallol* à 100° par [O^2 + N^0] à n % O^2

18,14	$n = 81,6$	73
»	»	73
»	»	71
»	»	72
49,9	» »	73
»	»	81
111	» »	72,7
»	»	81,8
111	$n = 84,1$	84,1
49,9	1	81,9
»	»	84,5
49,9	$n = 89$	84,5
»	»	87,2
45	»	85,9
51	»	89

tière moins complexe que les précédentes : le coton, et d'un corps défini : l'alizarine (Tableaux V à VIII).

Ces premiers essais furent faits avec la collaboration de Mlle D. Guirchfeld. Leur résumé a été communiqué à l'Académie des Sciences de Paris en octobre 1929. Dans une deuxième série de recherches, nous avons entrepris de vérifier, avec la collaboration de Mme Helman, l'existence de cet équilibre d'auto-oxydation à température plus basse.

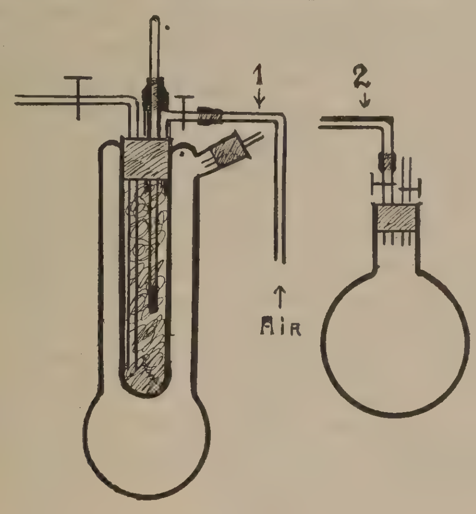


Fig. 2.

Pour un premier motif de simplicité, nous avons choisi 100°, plaçant notre tube de réaction dans une jaquette thermostatique pleine de vapeur d'eau. La substance était dispersée dans l'atmosphère du tube sous forme d'enduit sur de la laine de verre (fig. 2). Nous avons tout d'abord employé la méthode du courant gazeux, comme dans nos premières recherches, et commencé par l'étude du système (pyrogallol-oxygène dilué). Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau IX. Dans certains cas, la réaction nous avait semblé soit nulle, soit trop lente, pour atteindre l'équilibre pendant le court temps de passage dans le tube. Sous cette impression, nous avons alors supprimé la circulation du gaz et l'avons remplacée par le procédé suivant : Le tube de réaction, rempli d'oxygène pur ou mélangé d'azote, est mis en relation par un tube capillaire avec un récipient de grand volume contenant un autre mélange de ces deux gaz moins riche en oxygène, à la pression atmosphérique. Le plus souvent, ce dernier récipient était remplacé par l'atmosphère elle-même (fig. 2).

De cette manière l'oxydation aura pour effet, dans tous les cas possibles, de faire tomber rapidement la teneur en O^2 dans l'enceinte de réaction ; et l'arrêt de l'oxydation sera marqué par une concentration en O^2 constante. De plus l'ensemble des phénomènes se déroulent ainsi à pression constante. Une simple analyse permet de connaître alors la teneur en O^2 à l'équilibre. Une partie du gaz de réaction étant prélevé dans un récipient vidé d'air et

froid. Voir les valeurs trouvées : pour le pyrogallol humide et sec, au tableau X; pour une huile d'olive et une huile de lin, aux tableaux XI et XII; pour une colophane et un caoutchouc vulcanisé, aux tableaux XIII et XIV.

Remarquer la lenteur de ces deux dernières auto-oxydations: trois heures ne suffisent pas pour atteindre l'équilibre dans ces cas. Il semble atteint après quatre heures pour le caoutchouc.

Toutes ces méthodes permettent certainement de suivre la marche des oxydations jusqu'à un moment où elles s'arrêtent, l'équilibre étant atteint. Mais elles ne donnent pas la valeur réelle de la concentration de l'oxygène à l'équilibre. Il manque un terme essentiel à l'analyse : la teneur en eau des gaz à 100°. Ces chiffres ne donnent en effet que la concentration en O^2 dans les gaz humides refroidis, la vapeur d'eau ayant été condensée.

Nous employons à présent une méthode qui mesure cette vapeur d'eau condensée ou, plus exactement, le volume total des vapeurs condensables de toute nature, par la contraction subie au refroidissement. On chasse la totalité des gaz en introduisant dans la chambre laboratoire à 100° quelques gouttes d'éther. On mesure le volume obtenu après refroidissement, et on soustrait cette valeur du volume obtenu dans les mêmes conditions avec un gaz sec.

Nous trouvons ainsi, avec des réactifs secs (pyrogallol, oxygène et air), avec des réactifs humides, avec une huile d'olive, les résultats qui composent en partie le tableau XV.

TABLEAU XV

N°	Nature de la matière autoxydable	Conc. init. O^2	Conc. O^2 finale gaz froid	Vol. initial (à froid)	Vol. final (à froid)	Conc. finale gaz chaud	Durée	Observations
117	Huile d'olive	20	8,6	107	81	6,5	1 h. 40′	
88 b	»	96	7,3				1 h.	
118	id. + 1% pyr.	96	78,3	107	98	71,5	1 h.	
119	id.	96	83,7	107	100	78	1 h. 30′	
120	id.	96	84	107	101	79	2 h. 30′	
121	Pyrog. et gaz	96	79,5	113	110	77,4	30′	
123	sec	96	81,5	134	129	78	30′	pyrog. vieux
43	id.	89,5	78				1 h.	pyrog. frais
56	id.	97	78,4				5′	» »
122	Pyrog. et gaz humides	96	85,4	134	116	74	1 h.	pyrog. frais

OXYDATION EN GAZ STAGNANT

N°	Durée	Conc. O^2 init.	Conc. O^2 finale	Observat.
X. — *Pyrogallol*				
43	1 h.	89,5	78	Pyrog. et gaz
44	1 h.	»	81,5	secs
48	30′	97,2	80,5	
49	30′	»	85,5	
50	1 h. 30′	»	70	
51	1 h. 30′	»	87,5	
52	2 h. 30′	»	88,2	
53	15′	»	89,1	
54	45′	»	92,4	
55	1 h. 20′	»	91,5	
56(*)	5′	»	78,8	
57	18′	»	91,3	
58	30′	»	74,7	
62	5′	»	60,8	
63	19′	»	57,3	
64	4′	»	83,7	
65	19′	»	90,6	
66	30′	»	92,1	
67	45′	»	91,4	
41	5′	89,5	86,1	Pyrog. et gaz
42	5′	»	86,5	humides
45	2 h.	88,2	87	
46	2 h.	»	87,3	
47	2 h. 30′	»	87	
59	18′	»	86,8	
60	55′	»	86,5	
61	30′	»	87,8	

N°	Durée	Conc. O^2 init.	Conc. O^2 finale	Observat.
XI. — *Huile d'olive*				
89	45′	20 %	4,2	Azote
90	1 h. 30′	»	5	comme
91	45′	»	6,4	gaz
92	»	»	10,3	d'apport
93	1 h. 15′	»	4,7	huile fraîche
94	45′	»	7	
95	1 h.	»	5,1	le lendemain
96	1 h. 30′	»	4,9	air comme
97	1 h.	»	4,5	gaz d'apport
77	5′	97	83	»
78	21′	»	64,9	
79	30′	97	38,8	le lendemain
80	45′	»	30	de l'exp. 74,
81	1 h.	»	24	sur le
82	1 h. 30′	»	17	pyrogallol
83	2 h.	»	16,2	dans
84	2 h. 30′	»	7,2	le même
85	3 h.	»	9,4	appareil
86	1 h. 30′	»	16,7	(bouch.)
87	30′	»	13,8	caoutchouc)
88	30′	»	7,2	
88 b	1 h.	»	7,3	
XII. — *Huile de lin*				
98	30′	97	10,2	Air
99	1 h. 30′	»	8,2	comme gaz
100	1 h. 30′	»	10,1	d'apport.
75	4′	97	61,6	Voir la
76	21′	97	70,4	remarque
				de l'exp. 77

N°	Durée	Conc. O^2 init.	Conc. O^2 finale	Observat.
XIII. — *Colophane*				
101	45′	97	21,5	?
102	45′	97	20	?
103	2 h. 15′	»	61,3	
104	45′	96	85,1	— coloph,
105	45′	96	91,9	fraîche
106	45′	-96	50,2	— id.
107	1 h. 45′	»	36,3	— plus gr.
				surface
				d'attaque

N°	Durée	Conc. O^2 init.	Conc. O^2 finale	Observat.
XIV. — *Caoutchouc* (en fils) Vulcanisé avec accélérateur organ.				
108	45′	96	93,4	
109	2 h. 15′	»	82,9	
110	2 h. 40′	»	71,1	caout. frais
111	4 h.	»	48,8	
112	45′	»	90,7	
113	7 h. 15′	»	49,8	
114	2 h. 15′	71,3	65,3	
115	2 h.	54	54,8	

Enfin, la découverte de cet équilibre d'auto-oxydation nous a immédiatement suggéré une explication pour l'action antioxygène, si bien mise en évidence et étudiée par MM. Moureau et Dufraisse, et dont le mécanisme a fait l'objet de si nombreuses discussions. Nous la développerons dans les considérations suivantes :

I. L'existence de l'équilibre d'auto-oxydation peut se définir : Tout corps aggrégé auto-oxydable A est caractérisé par une « tension d'auto-oxydation » constante de l'oxygène, dans le gaz au contact de sa surface ; cette tension est celle de l'équilibre dans des réactions de la forme :

(*a*) $$A + O^2 \Longleftrightarrow A\,(O^2)$$

(*b*) $$B + O^2 \Longleftrightarrow B\,(O^2).$$

II. Au-dessous de cette tension de l'oxygène, la vitesse de peroxydation primaire devient inférieure à la vitesse de décomposition inverse du peroxyde primaire, et la concentration de celui-ci sur la surface de contact est infiniment voisine de zéro.

III. D'autre part, la *vitesse apparente* d'oxydation telle qu'on peut la mesurer, dans les expériences d'absorption de O^2 en fonction du temps, n'est pas pour certaines d'entre elles une vitesse de réaction au sens habituel que l'on donne à ce mot dans le cas des systèmes homogènes. *C'est une vitesse de diffusion* conditionnée selon des principes connus par les trois grandeurs physiques suivantes :

1° La concentration de O^2 dans l'enceinte : C ;

2° La concentration de O^2 au contact immédiat de la surface : Ox : cette concentration tombe dès le début jusqu'à la valeur constante de la concentration d'équilibre ;

3° L'épaisseur de la couche de diffusion dans laquelle la concentration primitive C est altérée.

Les grandeurs 1 et 3 étant supposées constantes, on trouverait une vitesse apparente d'oxydation constante. Cette grandeur est spécifique, conditionnée par la concentration d'équilibre Ox et proportionnelle à la différence $C - Ox$.

Un corps s'oxydera d'autant plus vite que la concentration d'équilibre sera plus basse et inversement. Nous sommes donc en possession d'une mesure de l'auto-oxydabilité, ou tout au moins de l'un de ses facteurs essentiels.

IV. Supposons un mélange aggrégé de deux substances A et B dissoutes l'une dans l'autre au contact d'un gaz oxygéné. Nous allons montrer qu'il suffit d'admettre la réaction réversible :

(*c*) $$A\,(O^2) + B \Longleftrightarrow B\,(O^2) + A$$

pour prévoir toutes les propriétés si particulières que l'on observe par expérience pour l'auto-oxydabilité de ces mélanges de A et de B.

Soit $Ox_B > Ox_A$. Tant que C dans le gaz sera supérieure à Ox_B nous

aurons affaire à trois réactions réversibles : l'état final des produits d'oxydation de (A, B), après oxydation primaire, sera déterminé et le même, quel que soit le chemin parcouru en passant par (*a*) ou par (*b*). Mais dès que $C < Ox_B$ les choses changent, la réaction

$$(b') \qquad B(O^2) \longrightarrow B + O^2$$

devenant irréversible. Toute formation de $A(O^2)$ théoriquement possible par la réaction (*a*) exclusive, sera annulée par suite de la destruction de ce peroxyde par la réaction (*c*) suivie de décomposition irréversible de $B(O^2)$, (réaction *b'*). Et cela se produira quelles que soient les concentrations à l'équilibre dans (*c*) (quelle que soit la constante de cet équilibre), puisque $B(O^2)$ n'a plus d'existence équilibrée à aucune concentration.

Nous observerons donc l' « annulation » de la réaction (*a*) — sens direct — par la réaction irréversible (*c*) + (*b'*), ce qui établit une sorte d'équilibre apparent.

Bien que l'oxydation pour A seul puisse aller jusqu'à Ox_A dans le gaz, et à la vitesse d'auto-oxydation correspondante (relativement grande), l'auto-oxydation s'arrêtera dès Ox_B pour le mélange A + B, ce qui détermine une vitesse d'oxydation beaucoup plus petite (voire nulle). C'est bien là le phénomène de l'action antioxygène : B exerce sur A une action antioxygène.

Nous avons pu *vérifier expérimentalement que l'action antioxygène était bien caractérisée par le saut brusque de la concentration d'équilibre à une valeur égale à celle qui est propre à la substance ajoutée en faible proportion* : Voir le tableau XV; voir aussi les expériences 75 à 88 (dernière partie du tableau XI) faites dans un appareil dont le bouchon, en caoutchouc, contenait encore sans doute du pyrogallol des expériences précédentes. Ceci nous fait entrevoir des possibilités nouvelles pour l'étude quantitative et la théorie des antioxygènes : on pourra classer tous les corps auto-oxydables en fonction de leurs tensions d'auto-oxydation croissantes. Pour être antioxygène vis-à-vis d'une autre, il faudra qu'une substance ait une tension d'auto-oxydation supérieure à celle de cette dernière. Mais cette condition, nécessaire, n'est pas suffisante : il faudra encore que l'échange d'oxygène entre les deux peroxydes (réaction *c*) soit effectif et rapide.

V. Pour expliquer l'action pro-oxygène, ou tout au moins un des cas de celle-ci, la notion d'équilibre d'auto-oxydation suggère l'idée d'un mécanisme tout différent mais non moins simple. Un corps dont la concentration d'auto-oxydation Ox sera plus basse que celle du corps expérimenté A sera pro-oxygène, accélérateur d'auto-oxydation, à la double condition que son peroxyde :

1° Cède rapidement son oxygène au corps A pour former directement *un oxyde stable* ; par exemple par la réaction :

$$B(O^2) + 2A = B + 2AO.$$

2° Ne le cède pas ou peu au contraire au corps A pour former le peroxyde primaire de celui-ci d'après la réaction (*c*) :

$$B(O^2) + A \Longleftrightarrow A(O^2) + B.$$

En résumé, nous croyons avoir mis en évidence l'existence d'un équilibre dans l'action de l'oxygène gazeux sur une phase aggrégée. Nous en avons recherché et vérifié un certain nombre de cas. Nous avons déduit de l'existence de cet équilibre une explication neuve et simple de l'action antioxygène. Nous proposons et utilisons une méthode expérimentale simple de mesure de la concentration de l'oxygène dans cet équilibre, méthode qui permettra de caractériser par un chiffre, dans certaines conditions, soit une auto-oxydabilité, soit une action antioxygène, soit une action prooxygène.

Nous poursuivons ces recherches et avons quelque espoir d'en tirer parti, aussi bien pour apporter une contribution à la théorie de l'auto-oxydation que pour mettre au point des applications pratiques.

OVER HET β-MALTOSE-ANHYDRIDE : BEREIDING EN SMELPUNT

door J. GILLIS,

Professor aan de Gentsche Hoogeschool

---

§ 1. — *Inleiding*

Het physisch-chemisch onderzoek van het stelsel lactose-water heeft ons geleerd (¹) dat dit volkomen kan worden voorgesteld met water, α-lactose en β-lactose als pseudocomponenten. Dit pseudoternair stelsel kan men grootendeels onderzoeken, althans bij lage temperatuur en in afwezigheid van katalysatoren, dank zij de langzame instelling van het evenwicht :

$$\alpha - \text{lactose} \Longleftrightarrow \beta - \text{lactose}.$$

Deze omzetting laat onder anderen toe uit te leggen dat deze reduceerende suiker het bekende verschijnsel der mutarotatie vertoont. Daarbij vermindert het draaiingsvermogen van de α – vorm, — die bij de d-suikers het hoogste draaiingsvermogen bezit — in functie van den tijd, door vorming van β-lactose, en omgekeerd neemt de draaiing van de β-lactose met den tijd toe, totdat het evenwicht

$$\alpha \Longleftrightarrow \beta$$

is ingesteld. Als men maar lang genoeg wacht of gebruik maakt van katalysatoren, waaronder de OH-ionen bijzonder actief zijn, is het mogelijk de ligging van dit evenwicht bij verschillende temperaturen vast te stellen.

Het evenwichtstelsel maltose-water, dat men ook het unaire stelsel kan noemen, werd insgelijks door ons bestudeerd en bleek bij 93°,5 een overgangspunt te bezitten, waarbij α-lactose-hydraat een molekuul water afgeeft, terwijl daarbij tevens β-lactose ontstaat.

Het unaire stelsel : lactose-water-pyridine werd ook door ons onderzocht (²) waarbij het bestaan van ditzelfde overgangspunt kon bevestigd worden, althans in oplossingen pyridine-water aan 50 gew. %. Op dit punt

(¹) J. Gillis, *Nouvelles recherches sur le sucre de lait*, « Recueil des trav. chim. des Pays-Bas », **39**, 88 (1920).

(²) J. Gillis, *De oplosbaarheid van melksuiker in water-pyridine-mengsels*, Vlaamsch Nat. en Geneeskund. Congres te Antwerpen (April 1930). *Natuurwet. Tijdschrift*, 12e Jaarg., 171 (1930).

berust de methode welke VERSCHUUR ([3]) heeft uitgewerkt om β-lactose-anhydride uit α-lactose-hydraat te verkrijgen.

Daar α-lactose-hydraat, α-lactose-anhydride en β-lactose-anhydride gemakkelijk in zuiveren toestand te bereiden zijn, vormt melksuiker een zeer geschikt materiaal, waarop het pseudostelsel en het unaire stelsel grootendeels kon worden uitgewerkt.

In tegenstelling hiermee is er van maltose slechts een gekristalliseerde vorm bekend, die uitkristalliseert met een molekuul water. Deze suiker gedraagt zich als een β-vorm, zooals blijkt niet alleen uit de verandering van het draaiingsvermogen, maar ook uit de verandering der electrische geleidbaarheid in aanwezigheid van boorzuur ([4]). Op grond daarvan reeds moet maltose-hydraat als een β-hydraat worden beschouwd en, daar er niet veel β-hydraten bekend zijn, werd het onderzoek van maltose ter hand genomen, onder anderen ook met de bedoeling onze theorie der mutarotatie, na te gaan. Deze ([5]) neemt aan dat, *in waterige oplossing*, de volgende evenwichten kunnen heerschen :

$$\begin{array}{ccc} \alpha \text{ vorm} + H_2O & \Longleftrightarrow & \alpha \text{ aq} \\ \Updownarrow & & \Updownarrow \\ \beta \text{ vorm} + H_2O & \Longleftrightarrow & \beta \text{ aq} \end{array}$$

De evenwichten in horizontale richting zouden zich zeer snel kunnen instellen, deze in verticale richting langzaam, althans bij lage temperatuur en in afwezigheid van katalysatoren. Deze laatste evenwichten zouden, in waterige oplossing, als oorzaak te beschouwen zijn van het mutarotatieverschijnsel.

De oplosbaarheid van maltose bij unair gedrag werd door ons reeds bepaald ([6]). De oplosbaarheidslijn is doorloopend en vertoont geen knik tusschen 0° en 96°.

We hebben ons voorgesteld nadere gegevens te bekomen over de omzetting van maltose-hydraat tot maltose-anhydride.

§ 2. — *De literatuur over de deshydratatie van maltose-hydraat*

FRANK en GROSSMANN ([7]) geven aan dat het hydraat *nur unter Zersetzung sein kristalwasser abgibt.*

Anderzijds vindt men in de verhandeling van LOBRY DE BRUYN en VAN

([3]) R. VERSCHUUR, *Préparation du lactose-β, Recueil des tra. chim. des Pays-Bas* **47**, 137 (1928)

([4]) R. VERSCHUUR, *Maltose, Recueil des trav. chim. des Pays-Bas*, **47**, 427 (1928).

([5]) J. GILLIS, *Recueil des trav. chim. des Pays-Bas*, **39**, 121 (1920). — Voir aussi : A. SMITS, *La théorie de l'allotropie*, Gauthier-Villars, 387 (1923).

([6]) J. GILLIS, *Le système maltose-eau, Recueil des trav. chim. des Pays-Bas*, **43**, 135 (1924).

([7]) H. Heinrich FRANCK und H. GROSSMANN, *Handwörterbuch der Naturwissenschaften*, **5**, 806 (1914).

Leent [8] : *Sur la maltose et son anhydride* dat maltose-hydraat, gedurende enkele uren verwarmd op 100-105°, geen water verliest en onveranderd blijft en anderzijds dat, bij 105° en in het luchtledige, een anhydride gevormd wordt dat zich voordoet als *une masse amorphe, vitreuse, jaunâtre*. Dit anhydride, opgelost in water, heeft dadelijk na het oplossen een draaiingsvermogen van 140°,7 dat, na 24 uren, terugloopt op 137°,7.

Daaruit scheen het twijfelachtig of het wel mogelijk zou wezen maltose-anhydride in vasten, kristallijnen vorm te verkrijgen.

§ 3. — *Het smelten van maltose-hydraat*

Bij het zoeken naar geschikte oplosmiddelen waarin maltose-hydraat minder oplosbaar zou zijn dan in water (namelijk, absolute alcohol, glycerine, ijsazijn en andere) was het ons gebleken dat er zich bij het afkoelen van de kokende vloeistof een siroop afzette, welke naderhand vast werd en een draaiingsvermogen bezat dat met den tijd *afnam*.

Wanneer wij daarna overgingen naar vloeistoffen waarin maltose-hydraat niet of slechts weinig oplost (onder anderen amylalkohol, toluol, en anderen), bleek het dat maltose-hydraat zich in deze kokende vloeistoffen omzette tot een zeer strooperige en taaie massa, *welke aan gesmolten suiker deed denken*. Deze massa werd, na afkoelen, uiterst langzaam ondoorschijnend en kristalliseerde niet uit.

Onder den indruk gekomen dat, bij de kooktemperatuur van de meeste dezer vloeistoffen, de smelttemperatuur van maltose-hydraat reeds bereikt was, heb ik getracht deze te bepalen. Daarbij werd als volgt te werk gegaan. Een smal reageerbuisje werd met een kurk in een breeder bevestigd, zoodat er tusschen beide een luchtmantel ontstond. In het binnenste buisje werd ± 1 gr. maltose-hydraat gebracht en daarbij ±2 cc. amylalkohol of toluol, twee vloeistoffen waarin maltose niet oplost en die hier gebruikt werden om de temperatuur gelijkmatig rond de suikerdeeltjes te verdeelen. Het geheel werd gedompeld in een oliebad waarvan de temperatuur geleidelijk werd opgevoerd, terwijl er met een thermometer voortdurend in de suiker geroerd werd.

Verschillende opwarmingskrommen werden op die wijze bepaald, waarvan de twee volgende, voor amylalkohol en toluol, vrij goed overeenstemmen (zie volg. blad).

Met behulp van deze gegevens kan men de opwarmingskrommen teekenen die een duidelijke knik vertoonen rond de 103°. Andere krommen gaven iets lagere resultaten, bijvoorbeeld 102°. Het is namelijk niet onmogelijk dat, bij deze werkwijze, een weinig waterdamp verloren gaat, waardoor afwijkingen te verklaren zijn. Ook speelt de regelmatigheid van het roeren een belangrijke rol.

[8] C. A. Lobry de Bruyn et F. H. van Leent, *Sur la maltose et son anhydride*. *Recueil des trav. chim. des Pays-Bas*, **13**, 218 (1894).

Met amylalkohol			Met toluol		
Tijd in minuten	Temperatuur van de suiker	Temperatuur van het oliebad	Tijd in minuten	Temperatuur van de suiker	Temperatuur van het oliebad
0	93,7	102	0	93,5	99,1
1	94,5	102,5	1	94,4	100,0
2	95,4	103,2	2	95,2	100,6
3	96,1	103,9	3	96,0	101,5
4	96,9	104,5	4	96,9	102,4
5	97,7	105	5	97,6	103,1
6	98,4	105,9	6	98,4	104
7	99,1	106,5	7	99,1	104,7
8	99,7	107	8	99,8	105,3
9	100,5	107,8	9	100,5	106,2
10	101,1	108,4	10	101,1	107,0
11	101,7	109	11	101,7	107,7
12	102,4	109,8	12	102,4	108,3
13	103,0	110,3	13	103,0	109,0
14	103,7	111	14	103,5	109,7
15	103,9	111,5	15	104,0	110,5
16	104,2	112	16	104,2	111,0
17	104,6	112,5	17	104,5	111,7
18	105,0	113,5	18	104,7	112,5
19	105,7	114	19	105,1	113
20	106,0	115	20	105,3	113,5
21	106,4	115,5	21	105,5	114
22	106,8	115,9	22	105,7	114,7
23	107,0	116,5	23	106,0	115,3
			24	106,2	116

Uit het feit dat wij hetzelfde resultaat bekomen hebben zoowel met amylalkohol als met toluol, mogen wij in ieder geval besluiten dat deze vloeistoffen zonder invloed waren op de omzetting en dat het smelten optreedt bij 102-103°.

§ 4. — *Bereiding van zuiver β-maltose-anhydride*

Het valt op dat, bij de meeste hunner deshydratatieproeven, Lobry de Bruyn en van Leent gewerkt hebben boven 105°, dus meestal boven de smelttemperatuur van maltose-hydraat, hetgeen kan verklaren dat zij steeds het anhydride verkregen hebben als *une masse amorphe, vitreuse, jaunâtre.*

Ik heb dan ook beproefd maltose-hydraat te deshydrateeren beneden de 102-103°. Daartoe heb ik gebruik gemaakt van een toestel om weegfleschjes te verwarmen in het luchtledige, terwijl dezelfde ruimte in verband stond met sterk zwavelzuur of P_2O_5 van gewone temperatuur. Het weegfleschje zelf werd verhit in een kokend waterbad, onder een druk van 1 cm. kwik. Na 3-4 uur waren 1-2 gr. volkomen gedeshydrateerd — gewichtsafname 5 % — terwijl *de massa volkomen wit kristallijn was gebleven* en niet het minste spoor van smelten vertoonde.

Daarmee was het bewezen dat maltose-hydraat wel, zonder ontleding, te deshydrateeren is, in tegenstelling met hetgeen in § 2 aangegeven is.

De deshydratatie, onder gewonen druk, bij 100° en in een stroom droge

en op 100° voorgewarmde lucht, is ook uitvoerbaar. Alleen geschiedt de deshydratatie dan minder vlug ; na 8 uren had het hydraat op deze manier slechts 4,75 % water afgegeven.

§ 5. — *Eigenschappen van β-maltose-anhydride*

Dit anhydride bezit het vermogen om terug waterdamp uit de lucht op te nemen waarbij het zich terug tot maltose-hydraat omzet. De reactie

$$\text{maltose-hydraat} \longrightarrow \text{maltose-anhydride} + H_2O$$

is dus omkeerbaar.

Verder verandert de deshydratatie niets aan de chemische structuur van het bestaande molekuul. De β-structuur blijft bewaard, zooals blijkt uit grootte en teeken der mutarotatie.

De deshydratatie van maltose-hydraat, beneden de 100°, kan dus worden weergegeven door het volgend schema

$$\beta aq \Longleftrightarrow \beta + H_2O.$$

Dit geeft dus aan dat maltose-anhydride wel verwant is met het β-maltose-hydraat.

Het β-maltose-anhydride gedraagt zich dus op dezelfde wijze als het α-lactose-anhydride, alleen dat het daar een α-vorm betreft. Dit laatste deshydrateert zich immers volgens het schema

$$\alpha aq \Longleftrightarrow \alpha + H_2O.$$

Wij vinden hier dus de bevestiging voor een β-suiker van het bestaan van de horizontale evenwichten die wij volgens onze theorie der mutarotatie in de inleiding hebben aangehaald. Eens te meer komt aldus voor den dag dat de oorzaak der mutarotatie niet in een deshydratatie gelegen is, maar wel in een tautomerisatie (namelijk een cis-trans-omzetting).

§ 6. — *Het smelten van β-maltose-anhydride*

Het lag nu voor de hand na te gaan, volgens dezelfde methode als voor het β-maltose-hydraat, bij welke temperatuur het nieuw verkregen anhydride smelt. De opwarmingskromme van dit anhydride werd bepaald in aanwezigheid van toluol, van xylol en van amylalkohol. Er werd een duidelijk knikpunt waargenomen in de buurt van 108°, zooals de volgende cijfers, verkregen met amylalkohol, dit weergeven.

Met amylalkohol

Tijd in minuten	Temperatuur van de suiker	Temperatuur van het oliebad
1	94,2	109
2	96,7	111
3	98,5	112,5
4	101,3	—
5	103,5	114
6	105,7	115
7	107,1	116
8	108,3	117
9	109,3	117,5
10	110,3	118,5
11	111,4	119,5
12	112,7	120,5
13	114	121
14	115	122
15	116,4	123

Toluol, dat reeds bij 110° kookt, hebben wij naderhand vervangen door xylol. Niet alleen vindt men, in xylol, een beginsmeltpunt, maar ook een eindsmeltpunt, gelegen rond de 118°, zoodat men een smelttraject van een tiental graden waarneemt.

Van de gesmolten massa werd, na afkoelen, het draaiingsvermogen onderzocht ; het bleek met den tijd af te nemen en zal dan ook naar alle waarschijnlijkheid hebben overeengekomen met de *masse amorphe, vitreuse, jaunâtre* beschreven door Lobry de Bruyn en van Leent. De massa welke wij verkregen was kleurloos.

Het is ons thans nog niet mogelijk met zekerheid de gevonden smeltpunten in een ontworpen smeltdiagram aan te geven. Wij wenschen eerst meer gegevens te verzamelen aangaande de smelttemperaturen van mengsels van β-maltose-hydraat en β-maltose-anhydride.

Wij zijn ook begonnen met het bepalen der oplosbaarheidsisothermen van het pseudoternair stelsel : maltose-water, althans bij de gewone temperatuur.

§ 7. — *Wat stelt het maltose-anhydride, door Lobry de Bruyn et van Leent beschreven, feitelijk voor?*

Door C. S. Hudson en Janovsky [9] werd een methode uitgewerkt om, uit de oplosbaarheden der mutaroteerende suikers in alkohol-water mengsels, het draaiingsvermogen van de nog niet geisoleerde α of β-modificaties te bepalen. Voor α-maltose werd op die manier $[\alpha]_{20}^{D} = 168°$ gevonden. Het draaiingsvermogen van de β-maltose is anderzijds gelijk aan 118°. Verder heeft de evenwichtsoplossing een rotatie $[\alpha]_{20}^{D}$ van 136°.

Neemt men aan dat voor maltose, evenals dit proefondervindelijk gevonden werd voor lactose, de rotatie lineair verandert met de samenstelling, dan volgt daaruit, voor de verhouding $\frac{\beta}{\alpha}$ van β-vorm tot de α-vorm,

[9] C. S. Hudson en Janovsky, *J. Amer. Chem. Soc.*, **39**, 1013.

in het evenwichtmengsel

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{168 - 136}{136 - 118} = 1,78$$

dus ook

$$\frac{\beta}{\alpha + \beta} = \frac{1,78}{1,78 + 1} = 0,64.$$

Het evenwichtsmengsel zou dus, bij 20°, op 100 molekulen suiker, 64 β-maltose-molekulen tegen 36 α-maltose-molekulen bevatten.

Voor het anhydride van Lobry de Bruyn en van Leent vonden deze, bij 20°, een beginrotatie van 140°,7, waaruit volgt

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{168 - 140,7}{140,7 - 118} = 1,2$$

en

$$\frac{\beta}{\alpha + \beta} = \frac{1,2}{1,2 + 1} = 0,54.$$

Dit anhydride zou aldus, op 100 molekulen suiker, 54 β-maltose-molekulen voor 46 α-maltose-molekulen bevatten.

Daaruit volgt dat het smelten van maltose-hydraat het evenwicht zeer aanzienlijk verschuift naar een α-kant. Bij lactose werd ook gevonden dat, althans in waterige oplossing, temperatuursverhooging het evenwicht verschuift ten gunste van de α-vorm.

Uit het voorgaande kan men dus afleiden dat het anhydride van Lobry de Bruyn en van Leent geen zuivere stof is, maar een onderkoeld mengsel dat ten naaste bij 54 % β-maltose voor 46 % α-maltose bevat.

§ 8. — *Korte Inhoud*

1. In tegenstelling met de bevindingen van Lobry de Bruyn en van Leent is het wel mogelijk β-maltose-hydraat beneden de 100° te deshydrateeren.
2. De methode wordt aangegeven om β-maltose-anhydride te bereiden.
3. Uit temperatuur-tijdlijnen blijkt dat β-maltose-hydraat en β-maltose-anhydride respectievelijk smelten bij 102-103° en 108°.
4. Het zoogenaamd maltose-anhydride van Lobry de Bruyn en van Leent is eigenlijk een onderkoelde massa bestaande uit ongeveer 54 % β-maltose en 46 % α-maltose.

§ 9. — *Résumé*

1. Il est possible, à condition d'opérer au-dessous de 100°, d'obtenir le maltose anhydre sous forme d'une poudre cristalline et non sous forme d'une masse amorphe, vitreuse, comme il a été obtenu par Lobry de Bruyn et van Leent.
2. La méthode de préparation du maltose anhydre β a été indiquée.
3. Comme des courbes température-temps l'ont établi, l'hydrate du maltose β et le maltose anhydre β commencent à fondre respectivement à 102-103° et à 108°.
4. Le soi-disant anhydride du maltose, décrit par Lobry de Bruyn et van Leent, est en réalité une masse en surfusion, constituée d'un mélange d'environ 54% de maltose β et de 46 % de maltose α.

ÉTUDES DE MÉCANIQUE CHIMIQUE

par A. PINKUS,

Professeur à l'Université de Bruxelles

Je me propose de résumer dans cette communication quelques travaux effectués dans mes laboratoires depuis 1924-1925 sur des questions relatives au mécanisme des réactions chimiques.

Poursuivant des recherches commencées en 1917 à l'Université de Genève, j'ai étudié en collaboration avec L. Henry (1) et R. Ruyssen (2) l'ionisation accompagnant l'oxydation du bioxyde d'azote et la dissociation du peroxyde d'azote et de l'ozone. Ces travaux ont confirmé l'existence d'une étape ionisante dans les transformations chimiques en phases gazeuses. Dans le cas des deux réactions inverses : $2\,NO + O_2 \rightleftharpoons 2\,NO_2$ (expériences de L. Henry), l'ionisation n'a pu être observée qu'à des températures comprises entre 250 et 335° C. L'intensité du courant était à peu près la même que l'on parte du mélange $NO + O_2$ ou du mélange $NO_2 + O_2$ et que l'on charge positivement ou négativement l'électrode collectrice. D'autre part, l'ionisation augmentait avec l'intensité du champ électrique et avec le nombre de molécules oxydées ou dissociées par unité de temps. Toutefois, les résultats n'ont pas été suffisamment reproductibles pour autoriser des conclusions d'ordre quantitatif. Par contre, dans le cas de l'ozone (expériences de R. Ruyssen), on a pu vérifier la proportionnalité rigoureuse entre l'intensité du courant d'ionisation et le nombre de molécules dissociées par seconde. Ainsi, à 240°, dans un champ de 845 volts par cm., le courant a augmenté régulièrement de $1{,}2 \cdot 10^{-12}$ à $1{,}1 \cdot 10^{-11}$ ampère à mesure qu'on augmentait de $8{,}9 \cdot 10^{16}$ à $7{,}7 \cdot 10^{17}$ le nombre de molécules d'ozone décomposées par seconde dans la chambre d'ionisation, et le rapport de ce nombre à celui d'ions captés est resté constant, voisin de 10^{10}, quel que soit le signe du champ extracteur. L'étude de la variation du courant en fonction du gradient de potentiel appliqué à la chambre d'ionisation a montré, d'autre part, que le courant de saturation est encore loin d'être atteint dans des champs allant jusqu'à 3200 volts par cm. Je me borne ici à signaler ces résultats dont l'interprétation fait l'objet d'une communication spéciale présentée à la Section de Physique de ce Congrès.

(1) A. Pinkus et L. Henry, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **37**, 285 (1928).
(2) A. Pinkus et R. Ruyssen, *ibid.*, 304

Aux recherches dont il vient d'être question se rattachent des travaux de cinétique chimique en phase gazeuse, entrepris dans le but de déterminer les vitesses des réactions devant être étudiées dans la suite au point de vue de l'ionisation qui les accompagne. Ces travaux ont porté jusqu'ici sur la décomposition thermique de l'ozone en présence du chlore et sur la formation du bichlorure d'éthylène à partir de l'éthylène et du chlore. L'étude de la première de ces réactions, effectuée par A. Radbill (1), a abouti à la conclusion inattendue qu'une très faible proportion de chlore retarde considérablement la décomposition de l'ozone lorsqu'on opère dans l'obscurité et à une température ne dépassant pas 70° environ. Cette catalyse négative diminue rapidement à mesure qu'on élève la proportion du chlore ou la température, et au voisinage de 100° on constate, au contraire, une catalyse positive, quelle que soit la composition du mélange gazeux. Ces résultats s'expliquent si l'on admet qu'à température peu élevée la décomposition de l'ozone se poursuit en grande partie à la surface du verre, et que le chlore supprime ou diminue la réaction hétérogène, tout en agissant comme catalyseur positif en phase gazeuse. Le ralentissement de la décomposition au-dessous de 70° en présence de petites quantités de chlore serait donc dû à l'adsorption sélective de ce gaz par les parois de la chambre de réaction. Cette théorie rend bien compte du fait que des traces indosables de chlore produisent déjà une stabilisation très marquée de l'ozone et que cette action diminue quand on élève la température, car on favorise ainsi la réaction en phase gazeuse et on diminue, au contraire, la quantité de chlore adsorbé. On s'explique également la diminution de l'effet retardateur avec la concentration croissante du chlore, car la catalyse homogène, due probablement à la formation d'oxydes intermédiaires, peut augmenter avec la pression partielle du chlore, tandis que la catalyse négative atteint son maximum déjà pour une très faible valeur de cette pression, aussitôt que la surface du récipient se trouve recouverte de chlore adsorbé.

L'étude de la deuxième des réactions indiquées plus haut, qui a fait l'objet d'un travail récent de J. Mockel (2), conduit à une interprétation analogue des particularités que présente la combinaison de l'éthylène et du chlore. Les expériences ont été faites à l'abri de la lumière, à 100 et 150°, sous une pression initiale de 450 ou 225 mm. Hg, c'est-à-dire dans des conditions permettant d'éviter la formation d'une phase liquide. Elles ont montré que la réaction suit exactement l'équation des processus bimoléculaires: la constante de vitesse reste parfaitement invariable avec le temps au cours d'une même expérience et parfaitement reproductible lorsqu'on répète l'expérience dans des conditions identiques. Mais cette constante diminue rapidement quand on augmente la proportion d'éthylène dans le mélange gazeux initial ou la pression totale de ce mélange. En d'autres mots, la constante de vitesse diminue quand on augmente la somme des pressions partielles de l'éthylène et du bichlorure d'éthylène, car cette somme reste

(1) A. Pinkus et A. Radbill, *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **35**, 451 (1926).

(2) J. Mockel, Thèse de Doctorat, Bruxelles (1930).

invariable au cours d'une expérience et ne dépend que de la composition et de la pression du mélange de départ. L'explication la plus simple de ces résultats consiste à admettre que l'éthylène et son dérivé chloré sont adsorbés par les parois de la chambre de réaction et suppriment plus ou moins complètement l'action catalytique positive exercée par le verre sur la combinaison de l'éthylène et du chlore. Cette interprétation se trouve confirmée par les faits suivants : 1° toutes choses égales d'ailleurs, la constante de vitesse augmente très sensiblement en présence de laine de verre, ce qui prouve que la réaction se poursuit en grande partie en phase hétérogène ; 2° la variation de la constante de vitesse avec la pression partielle initiale de l'éthylène devient de moins en moins marquée à mesure que cette pression augmente et finit par s'arrêter complètement, ce qui s'explique par l'allure bien connue des isothermes d'adsorption ; 3° la variation en question est plus lente à 150° qu'à 100°, ce qui s'explique par la diminution de l'adsorption avec la température croissante. L'ensemble des résultats obtenus montre que la réaction entre l'éthylène et le chlore constitue un exemple extrêmement net de l'influence des parois sur la vitesse des réactions entre gaz.

Une recherche de mécanique chimique d'un tout autre genre a été effectuée sur ma demande, il y a quelques années, par A. JULIARD [1]. Il s'agissait d'étudier l'influence de certains gaz étrangers sur la formation de l'ozone par l'effluve électrique, dans le but de compléter les résultats que j'avais obtenus précédemment dans des recherches exécutées à Genève sous la direction de E. Briner. Le travail de Juliard a confirmé que l'hydrogène et le tétrafluorure de silicium, loin d'améliorer les rendements de l'ozonation comme on l'admettait généralement, les abaissent au contraire très sensiblement. L'action de l'azote est plus complexe, mais lui aussi ne favorise la polymérisation de l'oxygène qui si l'on opère avec des débits gazeux suffisamment rapides et des wattages suffisamment faibles.

Plus récemment, A. Juliard a entrepris dans mon laboratoire, en partie en collaboration avec E. Hoffman et J. Ledrut, une longue série de recherches sur la réduction des oxydes métalliques par l'hydrogène, l'oxyde de carbone et le méthane. Je ne fais que signaler ces travaux qui font l'objet d'une communication présentée par leur auteur.

Enfin, pour compléter cet exposé, je dois revenir sur le travail de Mlle RAMAKERS [2] dont j'ai déjà parlé à propos des recherches de Chimie analytique. Il avait pour objet la détermination du mécanisme de l'oxydation des ions manganeux en ions permanganiques au moyen de l'acide persulfurique, en présence du nitrate d'argent agissant comme catalyseur. Ce travail a montré que la proportion de manganèse oxydé en un temps donné augmente avec la température et la concentration initiale du persulfate d'ammonium et du nitrate d'argent, mais diminue au contraire avec la concen-

[1] A. PINKUS et A. JULIARD, *J. Ch. phys.*, **24**, 370 (1927). — A. JULIARD, *Bull. Acad. Roy. Belg.*, Classe Sc., 914, (1926).

[2] Mlle L. RAMAKERS, Thèse de Doctorat, Bruxelles (1926).

tration initiale croissante du sel manganeux et de l'acide nitrique libre. Un autre fait remarquable est l'allure rectiligne des courbes représentant la variation de la fraction du manganèse oxydé en fonction du temps, lorsqu'on travaille en présence d'un excès suffisant de persulfate et à température pas trop élevée. Ces résultats, ainsi que l'existence d'une période d'induction nettement marquée, montrent que l'oxydation se poursuit en plusieurs étapes consécutives, dont la plus lente, celle qui détermine la vitesse du processus global, ne met en jeu aucune des substances dont la concentration varie sensiblement au cours de la transformation. Cela conduit à admettre que les ions Ag^+ réagissent d'abord avec les ions persulfuriques en donnant naissance au peroxyde d'argent, suivant la réaction réversible :

(1) $$2\,Ag^+ + S_2O_8^= + 2\,H_2O \rightleftharpoons Ag_2O_2 + 2\,SO_4^= + 4\,H^+,$$

l'oxydation des ions manganeux se produisant ensuite aux dépens du peroxyde :

(2) $$2\,Mn^{++} + 5\,Ag_2O_2 + 4\,H^+ \longrightarrow 2\,MnO_4^- + 10\,Ag^+ + 2\,H_2O.$$

Si l'on admet que la première de ces réactions est beaucoup plus lente que la deuxième, c'est la régénération du peroxyde d'argent qui règle la vitesse de formation du permanganate, et cette régénération doit se poursuivre, conformément à la loi de Guldberg et Waage, d'autant plus vite que la concentration en ions Ag^+ et $S_2O_8^=$ est plus grande et l'acidité plus faible. On comprend également que la fraction du manganèse oxydé en un temps donné diminue avec la concentration croissante initiale des ions manganeux, puisque la vitesse de la réaction (1) est indépendante de cette concentration. D'autre part, comme le persulfate et l'acide libre sont en grand excès et que les ions Ag^+ sont immédiatement régénérés par la réaction (2), les concentrations de toutes les substances qui figurent dans l'équation (1) restent pratiquement inchangées au cours de l'oxydation, ce qui explique l'allure rectiligne des courbes représentant la variation du % de manganèse oxydé en fonction du temps lorsqu'on évite la destruction trop rapide du persulfate.

L'ADSORPTION DES ÉLECTROLYTES PAR LES SURFACES CRISTALLINES

par L. de BROUCKERE,

Assistante à l'Université de Bruxelles

On dit qu'il y a « adsorption », lorsqu'une substance se fixe à la surface d'un solide ou d'un liquide, sans qu'il y ait formation de composés chimiques définis.

La plupart des recherches concernant ce phénomène ont été effectuées en utilisant, comme adsorbant et comme adsorbé, des substances mal définies, et sans prendre de précautions suffisantes pour éviter qu'à l'a*d*sorption que l'on voulait mesurer se superpose une a*b*sorption capillaire que l'on n'en pouvait séparer. Il en résulte que les conclusions obtenues par divers auteurs, ne sont généralement pas très concordantes entre elles. En particulier, dans le cas de l'adsorption des électrolytes les données de la littérature n'indiquent pas avec certitude :

1° Si le phénomène est ou n'est pas réversible ;

2° Si les anions et les cations sont retenus en quantités équivalentes ;

3° Quelle est l'influence de la nature des ions, notamment de leur valence, sur la quantité d'électrolyte adsorbé dans des conditions données de température et de concentration.

Pour essayer de répondre à ces questions, nous avons entrepris, à la demande de M. le professeur Pinkus, d'étudier systématiquement l'adsorption des électrolytes par les surfaces cristallines, en opérant dans des conditions parfaitement reproductibles, et en nous efforçant d'apporter le plus de précision possible dans les mesures.

Nous avons été amenés à prendre comme adsorbant le *sulfate de baryum*, à la suite des considérations suivantes :

1° Il est de constitution chimique simple et bien définie ;

2° On peut préparer un échantillon statistiquement homogène de ce corps, échantillon formé d'un grand nombre de petits cristaux, dont chaque gramme présente la même surface :

3° Il résulte de nombreuses observations faites par les analystes que le pouvoir adsorbant du sulfate de baryum est particulièrement élevé.

Comme adsorbés, nous avons pris des électrolytes simples, en évitant autant que possible ceux dont la dissociation électrolytique se fait par étapes avec formation d'ions intermédiaires complexes, ceux qui sont hydrolysés, et ceux qui sont susceptibles de réagir avec l'adsorbant. Dans une première série d'expériences nous avons étudié particulièrement l'influence

de la nature du cation, en utilisant des sels ayant le même anion ; nous nous sommes ensuite occupés d'une série de sels à cation commun dans le but de mettre en évidence le rôle de la nature de l'ion négatif. Nous avons pris, dans chaque cas, des substances faciles à doser même lorsqu'elles se trouvent à des concentrations ne dépassant pas 10^{-5} ou 10^{-4} molécule gramme par litre. Nous avons étudié jusqu'ici l'adsorption de 25°,00 C. de HCl, LiCl, NaCl, KCl, $NiCl_2$, $CuCl_2$, $LaCl_3$, $CdCl_2$, $HgCl_2$, $PbCl_2$, NaBr, KBr, NaI, KI, CdI_2.

Les expériences d'adsorption ont été conduites comme suit [1] *:*

On place dans un thermostat, réglé à 25° C., une éprouvette en verre pyrex, contenant un poids connu de sulfate de baryum et 100 cm^3 de la solution étudiée. On agite le mélange jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint ce qui exige généralement de huit à dix heures.

Pour vérifier la réversibilité du phénomène, nous avons dans certains cas mesuré aussi les équilibres auxquels on aboutit par désorption. On utilise dans ce but du sulfate de baryum ayant déjà servi à des mesures ayant porté sur des solutions plus concentrées que celles que l'on se propose d'étudier. L'adsorbant doit alors céder de l'électrolyte pour se mettre en équilibre avec la nouvelle solution.

La quantité adsorbée peut être déterminée soit *indirectement*, en mesurant la différence des concentrations initiales et finales de la solution, soit en dosant *directement* l'électrolyte fixé après l'avoir séparé de l'adsorbant par un traitement approprié.

Les dosages ont généralement été effectués par des méthodes physico-chimiques (potentiométrie [2], colorimétrie, ou conductométrie). Ces méthodes sont très sensibles et permettent généralement d'obtenir des résultats plus précis que les procédés de l'analyse courante.

Dans chaque cas, nous avons mesuré la quantité adsorbée correspondant à une quinzaine de concentrations différentes comprises entre $3{,}10^{-5}$ et 2 ou 3 mols-gr. par litre, en utilisant autant que possible des méthodes différentes, directe ou indirecte, et en dosant soit la totalité de l'électrolyte fixé, soit séparément l'anion et le cation.

Les résultats obtenus [2] sont reproductibles à 2-3 % près. Ils sont

[1] On trouvera les détails concernant la technique expérimentale, la manière dont on s'est assuré qu'au moment d'arrêter l'expérience on avait réellement atteint un état d'équilibre, ainsi que les précautions prises pour éviter les erreurs dues à la dissolution ou à la variation de la surface de l'adsorbant, dans les publications suivantes :
A. PINKUS et L. DE BROUCKÈRE, *Journ. de Chim. phys.*, **25**, 605 (1928) ; L. DE BROUCKÈRE, *Ibid.*, **26**, 251 (1929).

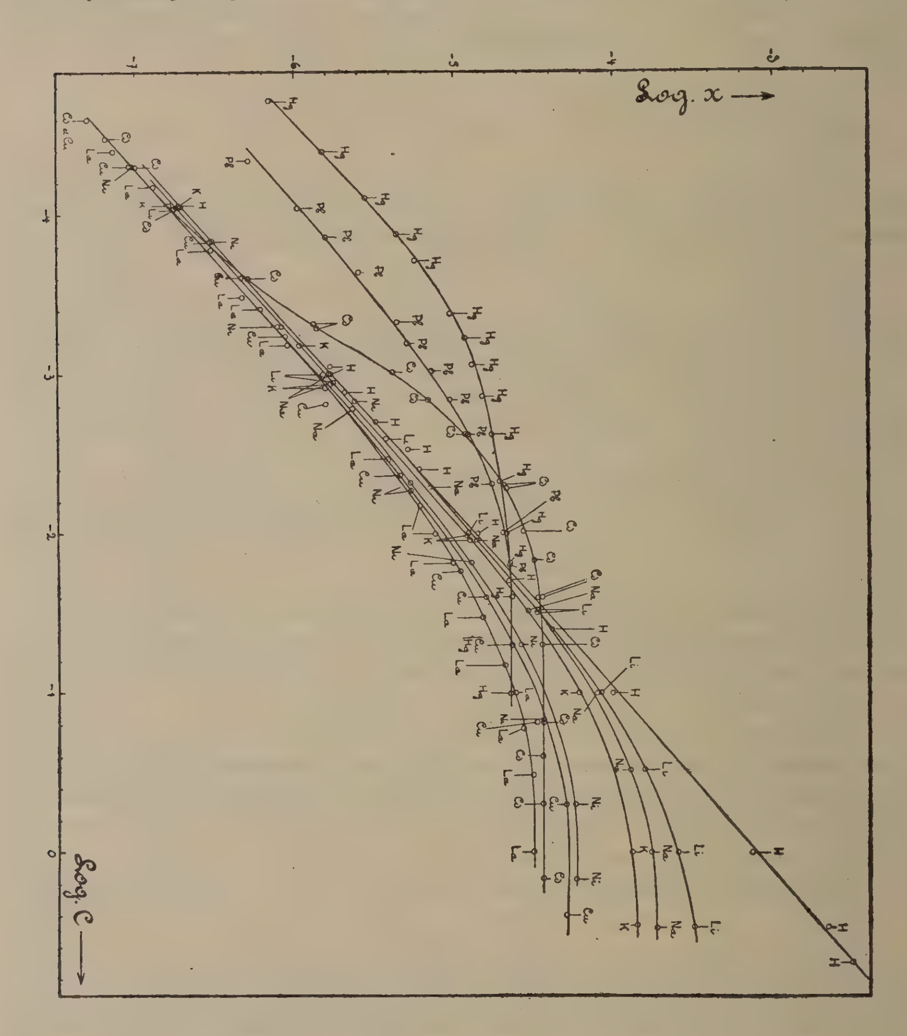
[2] Nous tenons à remercier le Fonds National de la Recherche scientifique qui a bien voulu nous prêter l'installation nécessaire aux mesures potentiométriques.

[3] Pour les résultats relatifs à l'acide chlorhydrique et aux chlorures alcalins cf. A. PINKUS et L. DE BROUCKÈRE, *loc. cit.* ; pour les résultats concernant $CuCl_2$, $NiCl_2$, $LaCl_3$, $CdCl_2$, $HgCl_2$, $PbCl_2$, NaBr, KBr, NaI, KI, CdI_2, voir L. DE BROUCKÈRE, *J. Chim phys.*, **26**, 251 (1929) et **27**, 543 (1930).

indépendants de la façon dont on atteint l'équilibre (par adsorption ou par désorption) et de la méthode utilisée pour doser l'électrolyte fixé.

Nous aboutissons donc aux conclusions suivantes :

1° L'adsorption est un phénomène réversible, conduisant à des équilibres dynamiques parfaitement définis ;



2° L'adsorption du solvant et les actions capillaires sont en tous cas insuffisantes pour modifier sensiblement la concentration des solutions ;

3° Les anions et les cations sont adsorbés en quantités équivalentes. — L'examen des courbes des figures I, II et III montre que les isothermes relatives aux quinze électrolytes étudiés ont toutes la même allure générale ; tracées en coordonnées logarithmiques elles présentent deux branches rectilignes. La première, inclinée d'environ 45° sur les axes, indique qu'en solution suffisamment diluée la quantité adsorbée croît à peu près propor-

tionnellement à la concentration. La seconde, parallèle à l'axe des concentrations, correspond à la saturation de la surface adsorbante (1).

Connaissant la quantité maximum x_s d'électrolyte que peut adsorber une surface de S cm² (2), on peut, en admettant l'hypothèse d'une pellicule adsorbée d'épaisseur monomoléculaire, calculer les limites supérieures, ρ, des rayons des particules fixées. Ces limites correspondent à l'arrangement plus compact possible, tel que chaque particule, supposée sphérique soit tangente à six autres. Elles sont données par l'équation :

$$\rho = 6,37 \cdot 10^{-10} \sqrt{\frac{1}{x_s}} \text{ cm.}$$

On trouve ainsi des valeurs qui augmentent lorsque diminue la masse moléculaire de l'électrolyte adsorbé, et comprises entre 4,02 et 13,41 . 10^{-8} cm. Ces valeurs sont probablement supérieures aux rayons moléculaires. On voit par exemple, (tableau I) que pour les halogénures alcalins les valeurs de ρ sont nettement plus grandes que les demi-distances a qui séparent les nœuds du réseau cristallin de l'électrolyte utilisé comme adsorbé.

Tableau I

Electrolyte	(3) a en cm.	x_s en mol-gr.	$\sqrt{\frac{I}{X_s}}$	ρ en cm
Na Cl	$2,81,10^{-8}$	$1,91.10^{-4}$ (4)	$0,724,10^2$	$4,60.10^{-8}$
Na Br	2,97 »	1,41 »	0,850 »	5,40 »
KCl	3,14 »	1,33 » (4)	0,862 »	5,52 »
NaI	3,23 »	1,18 »	0,921 »	5,86 »
KBr	3,28 »	1,07 »	0,969 »	6,15 »
KI	3,552 »	$8,51.10^{-5}$	1,08 »	6,85 »

Ceci semble confirmer l'hypothèse d'une pellicule monomoléculaire, et indiquer que même à la saturation l'arrangement des particules n'est pas le plus compacte possible, c'est-à-dire que la pellicule n'est jamais tout à fait continue.

Nos résultats montrent encore, que la quantité de bromure ou d'iodure alcalin adsorbé est indépendante de la nature du cation tant que la solution ne contient pas plus d'un dixième de molécule-gramme d'électrolyte par litre. On voit aussi que les courbes relatives à HCl, LiCl, NaCl, KCl, $CUCl_2$, $NiCl_2$, $LaCl_3$, se confondent presque tant que la surface reste faiblement recouverte, et cela quelle que soit la valence du cation. Les courbes relatives aux halogénures d'un même cation divergent au contraire dès leur origine. Ces

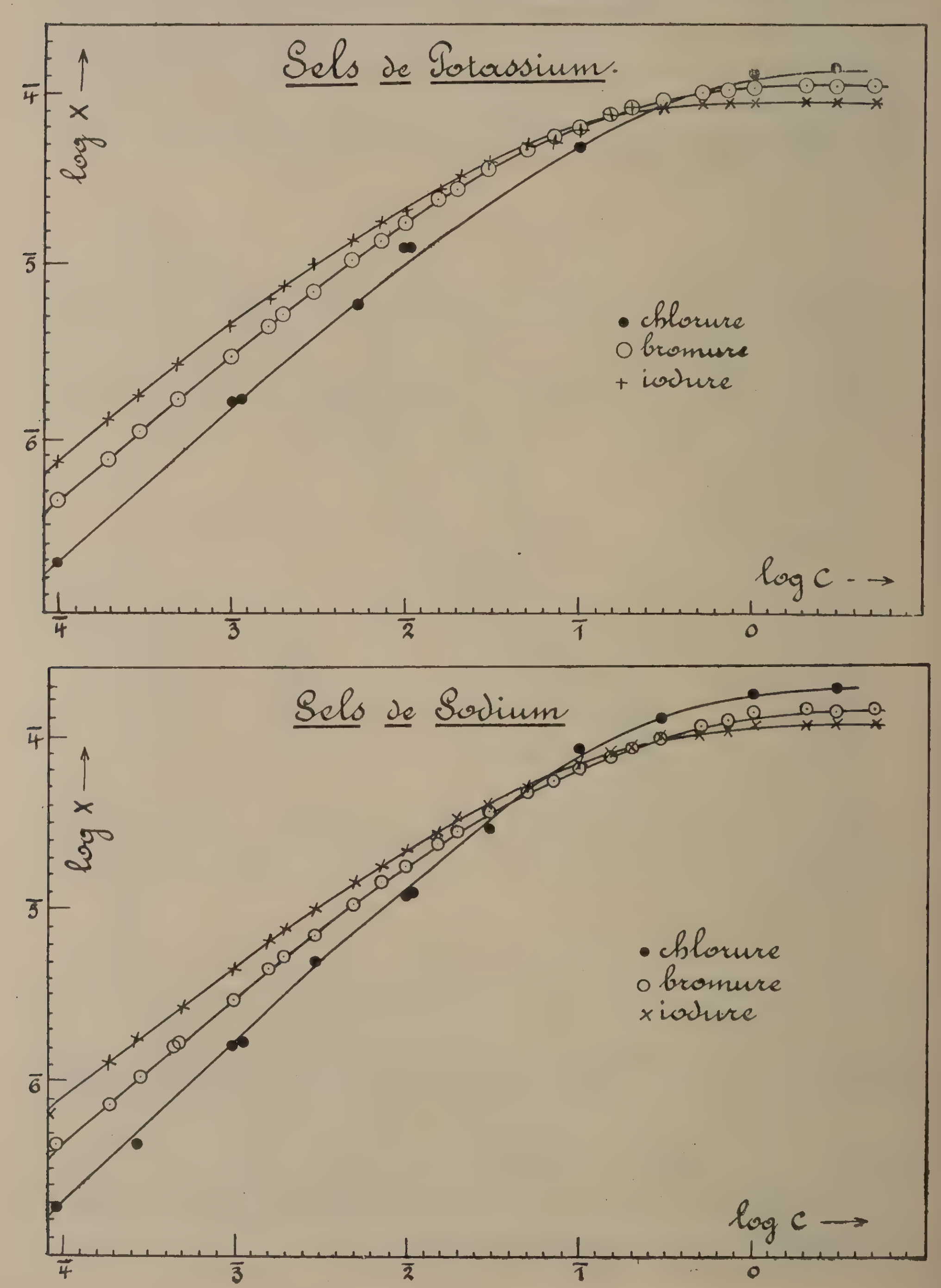
(1) Dans le cas de l'acide chlorhydrique, la courbe ne s'incurve vers l'axe des abscisses que pour des solutions plus concentrées que celles que nous étudions ici.

(2) Dans nos expériences S=8.45 . 10^5 cm². Voir A. Pinkus et L. de Brouckère, *loc. cit.*

(3) D'après les *Tables Internationale Critique.*

(4) Extrapolées graphiquement.

observations s'expliquent en admettant que la fixation de HCl, LiCl, NaCl, KCl, $NiCl_2$, $CuCl_2$ *et* $LaCl_3$, *se fait principalement par adsorption directe*



de l'anion, les cations en nombre équivalent étant retenus par attraction électrostatique. Nous espérons vérifier cette hypothèse par des expériences de cataphorèse et d'électrosmose.

La discussion de l'équation de l'isotherme d'adsorption (1) montre qu'aux fortes concentrations la quantité adsorbée doit dépendre surtout des dimensions des particules fixées, tandis qu'en solution diluée elle est déterminée principalement par l'intensité des forces mises en jeu. A ce point de vue nos résultats indiquent que l'ion I^- est plus fortement fixé que l'ion Br^- et que celui-ci est plus facilement retenu que le Cl^-. Dans le faisceau des courbes relatives aux chlorures, celle du $HgCl_2$ est nettement au-dessus des autres ; de même, en solution diluée, l'iodure de cadmium est plus fortement adsorbé que les iodures alcalins. Cela doit, sans doute, être attribué au fait que $HgCl_2$ et CdI_2 sont très peu dissociés, et semble indiquer que les molécules neutres sont plus fortement retenues que les ions. L'allure particulière de la courbe du $CdCl_2$ s'explique alors par le fait que ce sel, normalement dissocié en solution très diluée, est déjà très peu ionisé pour des concentrations moyennes, ce qui le rapproche du $HgCl_2$. Enfin la forte adsorption du $PbCl_2$ est peut-être à rapprocher de la faible solubilité de ce sel.

Qu'il nous soit permis, en terminant, de remercier M. le professeur Pinkus de la très grande part qu'il a bien voulu prendre à ce travail.

---

(1) Pour plus de détails voir les Mémoires du *Journal de Chimie Physique*.

RECHERCHES SUR L'ÉQUATION D'ÉTAT DES HYDROCARBURES PARAFFINIQUES GAZEUX

par Marcel BECKERS,

Assistant à l'Université de Bruxelles

Nous avons entrepris, au Laboratoire de Chimie physique de l'Université de Bruxelles, la préparation et la détermination des constantes des hydrocarbures paraffiniques facilement liquéfiables : le propane, le butane et l'isobutane.

Le but le plus général que nous nous sommes proposé d'atteindre est de fournir des données en vue de l'établissement de l'équation d'état de ces différents gaz.

L'ensemble de ces recherches constitue l'objet du Projet N° 32 de l'American Petroleum Institute.

Les recherches de plus en plus soignées effectuées durant le dernier quart de siècle ont démontré la nécessité de n'utiliser pour les mesures que des substances de haute pureté.

Ainsi que Ph. A. Guye [1] l'a particulièrement mis en lumière au cours de ses recherches classiques sur les propriétés des gaz purs, il est indispensable pour s'assurer de l'état de pureté obtenu de faire appel à des matériaux de diverses origines. « On évite ainsi plus sûrement les erreurs systématiques provenant de la présence insoupçonnée d'impuretés difficilement éliminables ; ces impuretés ont toutes chances d'être différentes avec l'origine des échantillons étudiés et de manifester leur présence par le désaccord persistant des constantes physiques, même après la purification, si celle-ci ne s'est pas montrée particulièrement efficace [2]. »

Pour les mêmes raisons, il convient de varier également les modes de purification.

Notre communication se réduira à donner un bref exposé des méthodes de préparation et de purification suivies pour l'obtention du butane pur ; nous y adjoindrons quelques considérations sur la mesure des densités au moyen de la méthode du ballon.

---

(1) Ph. A. Guye et T. Batuecas, *J. Ch. Phys.*, **20**, 311 (1923).

(2) Jean Timmermans, *La Notion d'espèce en chimie*, p. 47 ; Paris, Gauthier-Villars (1928).

Trois échantillons de butane ont été préparés ; le premier à partir d'iodure de butyle normal, le troisième à partir d'iodure de butyle secondaire par la méthode de Lebeau ; le deuxième à partir de valéronitrile par la méthode de Frankland et Kolbe modifiée par Stahrfoss.

L'iodure de butyle primaire et le valéronitrile mis en œuvre dans les deux premières préparations sont obtenus tous deux aux dépens de l'alcool butylique primaire tandis que l'iodure de la troisième préparation l'a été à partir de l'alcool butylique secondaire.

Quant à la purification, elle a été conduite également de manière différente : le gaz des première et troisième préparations a subi l'action de réactifs chimiques appropriés puis ils ont été tous deux soumis à un fractionnement physique par distillation. Le deuxième échantillon a été soumis uniquement à ce dernier mode de fractionnement.

Le fractionnement physique lui-même a été exécuté par des méthodes sensiblement différentes :

1° Par l'emploi de l'appareil rendu classique par l'Ecole de Genève (1);

2° Par l'emploi de l'appareil préconisé il y a quatre ans par Cardoso (2).

D'après son auteur, cet appareil est susceptible d'assurer une purification plus efficace que celle obtenue avec l'appareil classique tout en rejetant une plus faible proportion du gaz à purifier.

Dans l'appareil classique, le fractionnement s'opère simplement par distillation d'une ampoule dans une autre, sans aucune déphlegmation, c'est-à-dire d'une façon brutale, par simple application du principe de Watt des parois chaude et froide. De plus, la tension de vapeur pendant la distillation est souvent bien inférieure à une atmosphère. Dans l'appareil de Cardoso, le fractionnement s'opère, au contraire, à une pression aussi forte que possible ; en pratique, on ne peut dépasser 2 à 3 atmosphères qui est la limite de résistance de l'appareillage en verre ; les tensions de vapeur des diverses substances en présence se trouvent accrues ainsi que leurs différences, ce qui facilite le fractionnement.

Nous nous sommes inspirés des idées défendues par Cardoso pour tenter au moyen de l'appareil classique un fractionnement conduit d'une façon quelque peu différente de celle adoptée habituellement.

La source de froid est non plus la neige carbonique mais la glace pilée; pour le butane, la tension de vapeur passe ainsi de 12 à 770 mm. Soient les ampoules A et B, séparées par le robinet *c* et munies respectivement des manomètres *a* et *b*. Dans l'ampoule A se trouve liquéfié le gaz brut (débarrassé toutefois des gaz permanents) ; il va être distillé dans l'ampoule B. Lors de la première distillation, le niveau du manomètre *b* reste constant à 1 ou 2 mm. près pendant toute l'opération, ce qui semblerait indiquer une pureté assez grande.

Cependant si l'on ferme *c* et que l'on plonge l'ampoule A dans la glace fondante, on constate que la fraction de queue restée en A présente une

(1) G. Baume, *J. Chim. Phys.*, **6**, 31 (1908).

(2) Cardoso, *J. Chim. Phys.*, **23**, 829 (1926).

tension de 42 mm. inférieure à la tension mesurée avec le même manomètre avant la distillation. En opérant de nouvelles distillations suivant la même technique, on trouve que la différence tombe à 11 mm. au cours de la deuxième distillation, à 7 mm. après la troisième, à 4 mm. après la quatrième.

En conclusion, la progression de la purification par distillation fractionnée dans l'appareil classique peut être suivie efficacement par la mesure des tensions de vapeur de la masse avant fractionnement et de celles des fractions de queue. Le critère de pureté généralement utilisé — la constance de la pression pendant la distillation — peut conduire à des conclusions erronées.

Les différentes substances ayant servi à l'obtention du butane ont été préparées par les soins de Mlle Delcourt, Research Assistant de l'American Petroleum Institute.

Les méthodes et les critères de pureté utilisés pour ce travail sont ceux en usage au Bureau des étalons physico-chimiques.



Supposant nos trois échantillons de gaz complètement purifiés, il nous reste à les comparer en utilisant l'une ou l'autre de leurs constantes parmi les plus sensibles ; nous avons eu recours à la mesure de la densité à 0°. Cette mesure a été effectuée d'après la méthode bien connue du ballon, telle qu'elle a été perfectionnée et rendue classique dans le laboratoire de Ph. A. Guye, à Genève. Quelques modifications ont cependant été apportées à la méthode telle qu'elle était encore pratiquée il y a quelques années.

Le raccord des ballons aux canalisations de l'appareillage se faisait autrefois au moyen de caoutchouc à parois épaisses. Or, celui-ci émet des gaz lorsqu'il se trouve soumis au vide. Cet inconvénient a été supprimé par l'emploi de joints rodés coniques ainsi que l'avaient déjà fait à Louvain MM. A. Bruylants, Lafortune et Verbruggen [1]. Moles et ses collaborateurs utilisent actuellement des joints plats.

Une seconde modification à la méthode classique consiste en l'emploi de ballons relativement grands: 800 à 2200 cc., alors que Guye et ses collaborateurs utilisaient des ballons dont la capacité s'étageait de 300 à 800 cc. Le but visé est de réduire ainsi les erreurs systématiques qui sont causées d'une part par l'adsorption de gaz par les parois du ballon, d'autre part par la dissolution du gaz par le lubrifiant du robinet ; les robinets utilisés étant de même taille, l'influence de cette dernière erreur est inversement proportionnelle au volume des ballons.

Quant à l'erreur causée par l'adsorption, elle varie inversement à la grandeur du rayon ; en effet si R désigne le rayon du ballon, le rapport de la surface de ce dernier à son volume est égal à

$$\frac{4 \pi R^2}{4/3 \pi R^3} = \frac{3}{R}$$

[1] *Bull. Soc. chim. de Belg.*, **36**, 591 (1927).

Guye et son école ont pensé éliminer cette influence de surface en utilisant 2 ou 3 ballons au moins, de volume relativement faible mais différent, avec lesquels on opère simultanément.

C'est là certainement une erreur d'appréciation. Durant ces dernières années, Moles et Crespi (1) ont déterminé, par une méthode physique originale, la grandeur de la correction d'adsorption pour quelques gaz. Ils arrivent à la conclusion que l'adsorption est environ une fois et demie aussi grande pour le verre soufflé que pour le verre étiré ; la correction d'adsorption, étant donc plus ou moins aléatoire, c'est une raison de plus qui milite en faveur de l'utilisation de ballons relativement grands.

Une des raisons invoquées en faveur de l'utilisation de petits ballons est leur plus faible coefficient de contraction, dont la détermination expérimentale est malheureusement fort délicate. Cette difficulté est éliminée si l'on utilise la formule proposée il y a quelques années par Moles en collaboration avec Miravalles (2) ; celle-ci fournit la grandeur de la contraction par la simple connaissance du volume du ballon et du poids du verre, quelle que soit la nature de ce dernier.

Nous avons effectué un travail de contrôle (3), au moyen de deux méthodes essentiellement différentes ; les résultats obtenus concordent sensiblement avec ceux calculés par la formule proposée.

De plus, nos déterminations nous ont permis de vérifier l'hypothèse suivant laquelle la contraction est une fonction linéaire de la différence de pression à laquelle se trouvent soumises les parois.

De cette discussion, nous pouvons conclure qu'il est possible d'utiliser avec avantage des ballons d'un et de deux litres. Cependant leur emploi exige des quantités de gaz trois et quatre fois plus considérables qu'auparavant, ce qui rend les travaux extrêmement laborieux.

Résultats des mesures

La densité du butane à 0° a dû être déterminée sous 710 mm. et non 760 mm. parce que sous cette dernière pression, ce gaz se trouve trop près de son point de liquéfaction. Avec le premier échantillon nous avons effectué trois séries de mesures avec trois ballons ; elles nous conduisent à la moyenne de 2,52006 gr.

Avec le deuxième échantillon, deux séries de mesures avec deux ballons donnent une moyenne de 2,51977.

Quatre séries de mesures avec quatre ballons ont été effectuées avec le troisième échantillon ; la moyenne est 2,51984.

La moyenne générale des trois échantillons est 2,51989 ; elle s'écarte de 0,7/10.000e seulement de la valeur du premier échantillon qui est le plus divergent. La valeur de 2,52006 obtenue pour le premier échantillon s'écarte assez sensiblement de la moyenne des deuxième et troisième échan-

(1) *Anales de la Societad Española de Fisica y Quimica* (1926 à 1929).

(2) Moles et Miravalles, *J. Ch. Phys.*, **21**, 1 (1924).

(3) Beckers, *Bull. Soc. chim. Belg.*, **38**, 329 (1929).

tillons qui est de 2,51980 (à ± 1/100.000[e]) ; la divergence de 1/10.000[e] doit être attribuée, semble-t-il, non pas aux erreurs de mesure mais à une différence effective dans la composition des gaz. Nous inclinons à croire que le premier échantillon renfermait encore des traces d'iodure de butyle dont 1/20.000[e] en volume suffit pour expliquer la divergence. Quoi qu'il en soit, la concordance de densité remarquable obtenue avec les trois échantillons nous permet de penser que le gaz préparé atteint un haut degré de pureté. Ramenée aux conditions normales, la moyenne adoptée pour les trois échantillons devient 2,5185.

Coefficient de compressibilité

Celui-ci a été obtenu au moyen de mesures effectuées sous les pressions de 510 et 310 mm. avec le premier échantillon ; nous avons conclu aux valeurs suivantes : 1,78973 sous 510 mm. ; 1,07626 sous 310 mm.

Par la méthode des différences secondes, due à Ph. A. Guye, nous avons obtenu pour le produit $p\ v$ (supposé égal à l'unité sous 710 mm.) sous une pression limite nulle, la valeur 1,038464.

Par application de la loi des densités limites de D. Berthelot, on obtient la valeur 58,188 comme poids moléculaire du butane, ce qui conduit à 12,027 comme poids atomique du carbone.

Cette valeur trop élevée de 15/10.000[e] environ pourrait s'expliquer par l'adsorption causée par les parois des ballons.

Nous nous proposons de compléter nos déterminations sur le butane par la mesure des tensions de vapeurs, depuis le point de congélation jusqu'à la température critique ; des constantes critiques, de la densité des phases en équilibre jusqu'à la température critique, ce qui entraîne la détermination du diamètre rectiligne ; de température de congélation.

RÉDUCTION DES OXYDES MÉTALLIQUES PAR LES GAZ

par A. JULIARD,

Assistant à l'Université de Bruxelles

La réduction directe des oxydes métalliques par les gaz semble destinée à remplacer dans l'avenir les procédés métallurgiques actuels. L'étude du mécanisme de ce mode de réduction, qui intervient d'ailleurs dans les réductions par le charbon, présente également un intérêt théorique, parce qu'elle conduit à aborder diverses questions se rapportant aux équilibres et à la cinétique des réactions en systèmes hétérogènes.

Ces considérations nous ont engagé à entreprendre une série de recherches sur les vitesses de réaction entre les gaz réducteurs et les oxydes métalliques. Nous les poursuivons depuis quelques années aux laboratoires dirigés par M. le professeur A. Pinkus. Nous avons étudié jusqu'ici, en partie en collaboration avec MM. Hoffmann et Ledrut, la réduction des oxydes de cuivre, de nickel et de cobalt par l'oxyde de carbone, l'hydrogène et le méthane. Nous ne pouvons indiquer ici, faute de place, qu'une partie des résultats obtenus.

Afin de nous rapprocher des conditions réalisées dans la pratique métallurgique, tout en éliminant l'imprécision résultant de l'hétérogénéité des oxydes naturels, nous avons effectué nos mesures sur des pastilles compactes, obtenues en comprimant les oxydes en poudre sous une pression de 4 tonnes par cm^2 et en les soumettant ensuite à un traitement thermique convenable. On obtient ainsi des échantillons d'oxyde parfaitement homogènes et tout à fait reproductibles au point de vue de leur réductibilité. Ces pastilles sont ensuite soumises à l'action d'un courant du gaz réducteur qui les attaque symétriquement sur tout leur pourtour [1]. Dans ces conditions, la réduction progresse très régulièrement de la périphérie au centre de la pastille, ce qui facilite l'interprétation théorique des résultats obtenus.

La marche de la réduction est suivie d'une manière continue en mesurant la quantité d'oxyde de carbone ou d'hydrogène ayant réagi avec l'oxyde, c'est-à-dire d'après la quantité d'anhydride carbonique ou d'eau formés [2]. Cette quantité est déterminée directement en comparant le débit du gaz à l'entrée de la chambre de réaction et à la sortie de l'absorbeur d'anhydride carbonique ou d'eau, placé à la suite de la chambre de réaction.

(1) La pastille, supportée par une fourchette en quartz, est placée dans l'axe du tube parcouru par le gaz réducteur.

(2) Nous laissons de côté le cas du méthane, beaucoup plus compliqué.

La figure I représente schématiquement l'appareil de mesures. Le gaz réducteur est contenu dans le gazomètre A sous la pression atmosphérique augmentée de la surpression constante produite par la colonne d'eau H.

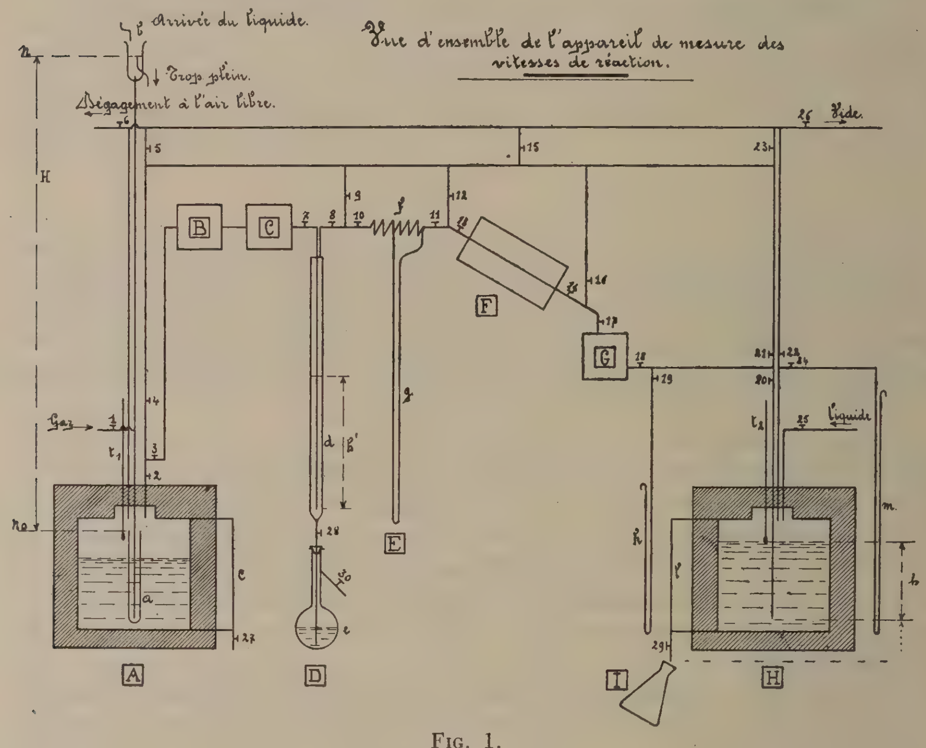


Fig. 1.
Appareil de mesure.

A la sortie du gazomètre, le gaz traverse les tubes desséchants B, le régulateur de surpression D, la capillaire *f* qui règle le débit pour une surpression donnée, la chambre de réaction F placée dans un four électrique et l'absorbeur G de CO_2 ou de H_2O [1]. Il pénètre finalement sous la pression atmosphérique dans le réservoir calorifugé H monté en vase de Mariotte, où il déplace un volume d'eau qu'il suffit de recueillir et de peser à des intervalles de temps réguliers pour déterminer, à divers instants, le débit gazeux à la sortie de l'absorbeur. En tenant compte de certaines corrections, on arrive par cette méthode à des mesures de débit très exactes, reproductibles à 0,2 % près en moyenne. Comme le débit à l'entrée de la chambre à réaction est déterminé par la même méthode et avec la même précision au début et à la fin de chaque expérience, on ne commet sur la vitesse de réaction

[1] L'absorbeur est un laveur refroidi extérieurement, s'il s'agit de retenir la vapeur d'eau, ou un laveur à potasse caustique du type d'Orsat, convenablement modifié pour augmenter son efficacité sans introduire de résistance appréciable dans le circuit du gaz, s'il s'agit de retenir l'anhydride carbonique.

déduite de ces mesures qu'une erreur de quelques dixièmes de pour cents, à condition que la réduction de l'oxyde ne soit pas accompagnée de réactions secondaires entraînant une modification du volume gazeux (1).

La figure 2 montre la reproductibilité des résultats obtenus par cette méthode. Les deux courbes représentent la variation de la vitesse de réduction de l'oxyde de cuivre par l'oxyde de carbone, en opérant sur des pastilles

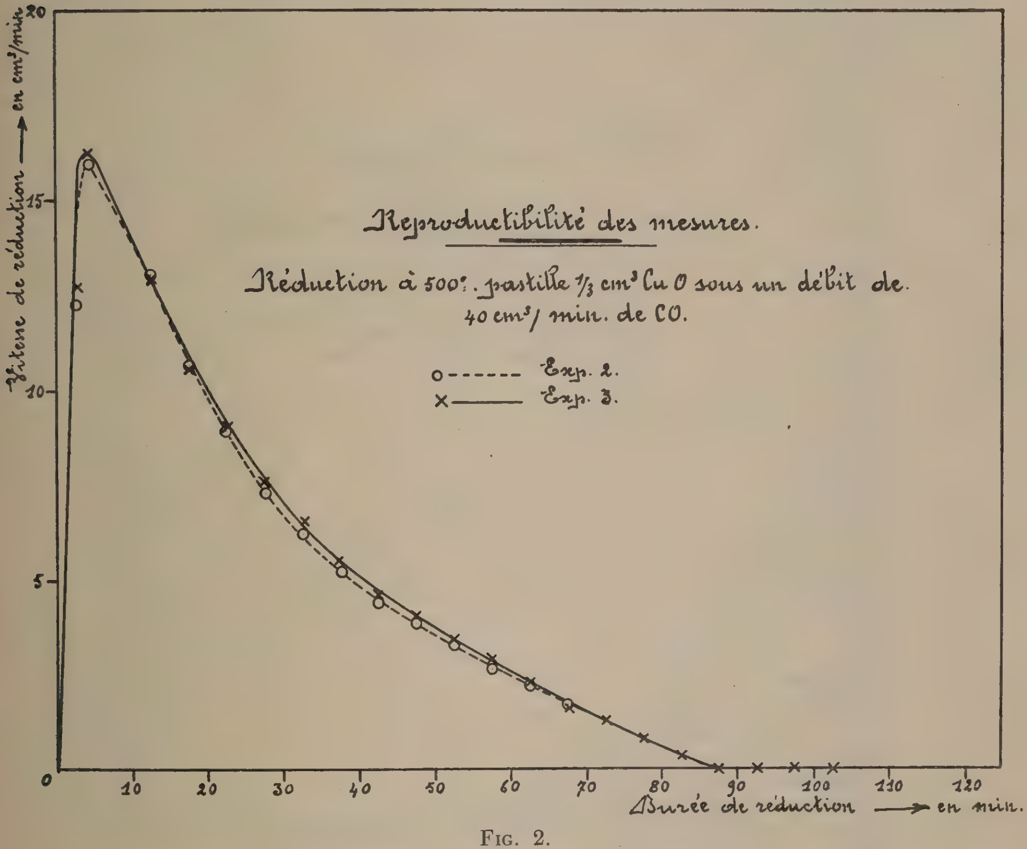


Fig. 2.
Réduction de CuO par CO à 500°

identiques, à 500°, avec un débit gazeux à l'entrée de 2,5 litres par heure. On voit que les deux courbes, obtenues dans deux expériences tout à fait indépendantes, se superposent presque exactement. Les intégrales $\int v.\, dt$ des deux courbes, ainsi que les quantités d'oxygène enlevé à l'oxyde, déterminées par la diminution du poids des pastilles, concordent à quelques % près. On voit donc que la mauvaise réputation attachée aux mesures cinétiques en

(1) Remarquons que cette méthode s'applique à toute étude cinétique des réactions faisant intervenir un gaz dont le volume varie au cours de la transformation, ou qui donne naissance à un autre gaz facile à condenser ou à absorber.

systèmes hétérogènes, au point de vue de la précision et de la reproductibilité, n'est pas toujours justifiée.

Parmi les nombreux facteurs dont dépend la vitesse des réductions étudiées, nous n'envisagerons ici que le débit gazeux, le volume des pastilles et la température.

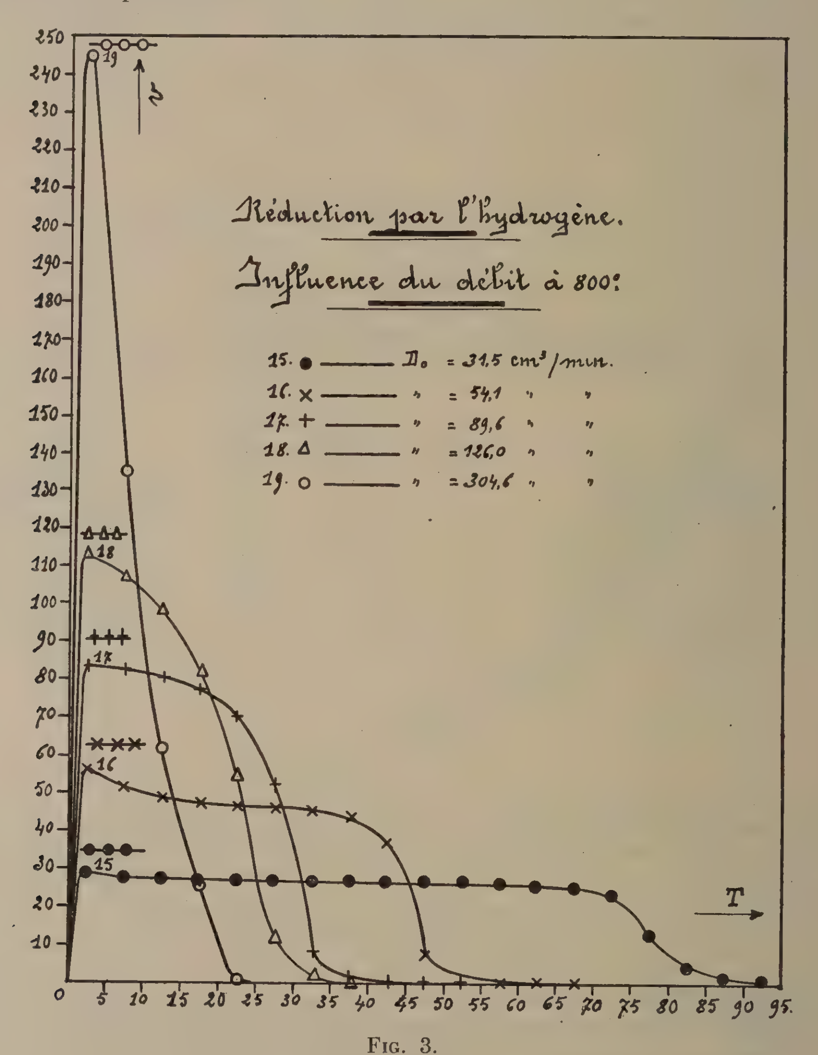


FIG. 3.
Influence du débit de l'H_2 sur l'allure de la réduction de NiO.

La variation du *débit* modifie profondément l'allure des courbes vitesse-temps. Nous donnons à titre d'exemple une série de résultats obtenus en étudiant la réduction de l'oxyde nickel par l'hydrogène à 800° (fig. 3).

Dans toutes les expériences, la vitesse de réduction augmente d'abord rapidement avec le temps, passe par un maximum, puis diminue progressivement et s'annule au bout d'un temps parfaitement déterminé. (Les

courbes ne sont pas asymptotiques à l'axe des temps, mais se raccordent tangentiellement à cet axe en un point déterminé). Lorsqu'on augmente le débit du gaz, la vitesse maximum de réduction s'élève et la durée de réduction totale diminue, en même temps que s'atténue, jusqu'à s'effacer, la convexité observable aux faibles débits sur la branche descendante.

La durée de réduction totale est moins influencée par la variation du débit que la vitesse maximum. En portant en abscisses les débits et en ordonnées l'inverse des durées de réduction totale, on obtient la courbe I

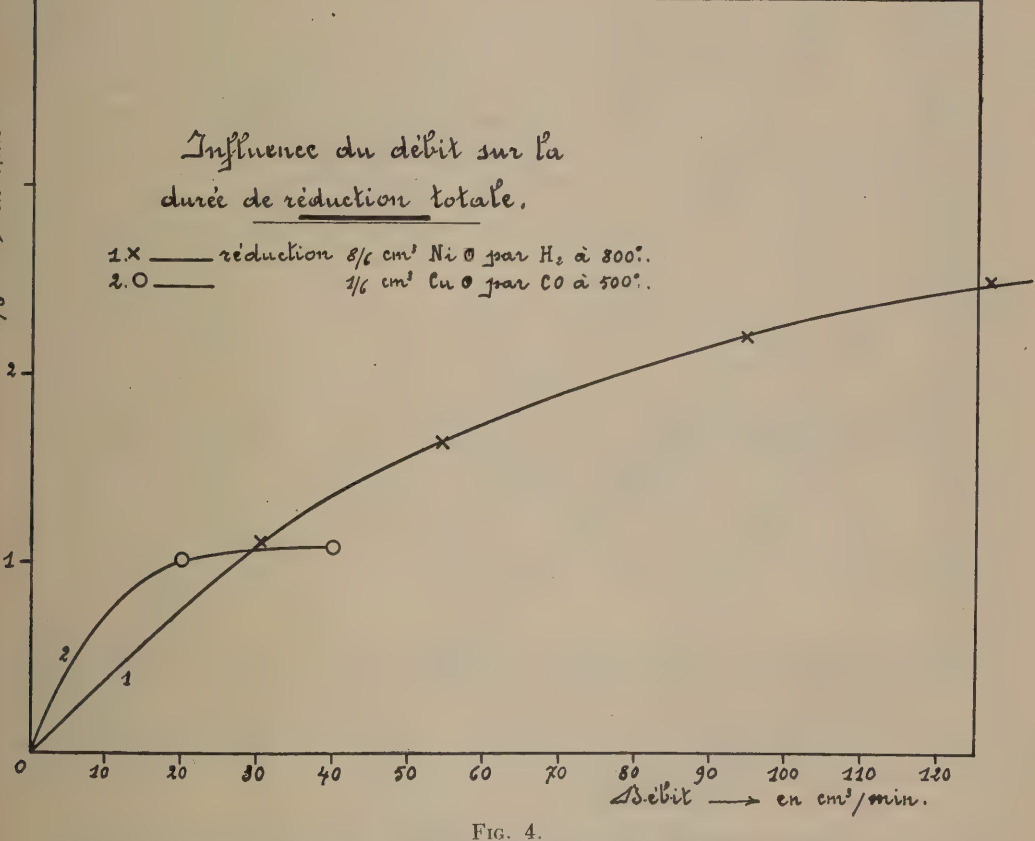


FIG. 4.
Influence du débit du gaz sur la durée de réduction totale.

de la figure 4. On voit que la durée de réduction totale, infinie pour un débit nul, diminue d'abord rapidement avec le débit croissant, puis de moins en moins vite et tend vers une limite qui est atteinte pour un débit d'autant plus faible que la pastille est plus petite et plus difficile à réduire. (La courbe 2 de la fig. 4 correspond à une pastille d'oxyde de cuivre plus petite et plus difficile à réduire que la pastille de nickel utilisée dans l'expérience ayant conduit à la courbe I.) Pour éliminer l'influence du débit dans l'étude d'autres facteurs dont dépend la vitesse de réduction, il faut donc opérer avec des débits suffisamment élevés.

L'influence *du volume des pastilles* est mise en évidence par les courbes de la figure 5, relatives à la réduction de l'oxyde de cuivre par l'oxyde de carbone à 500°, en opérant sur des pastilles dont les volumes sont dans le rapport de 1, 2 et 4. La courbe de la figure 6 indique l'allure de la variation de la durée totale de réduction avec le volume croissant des

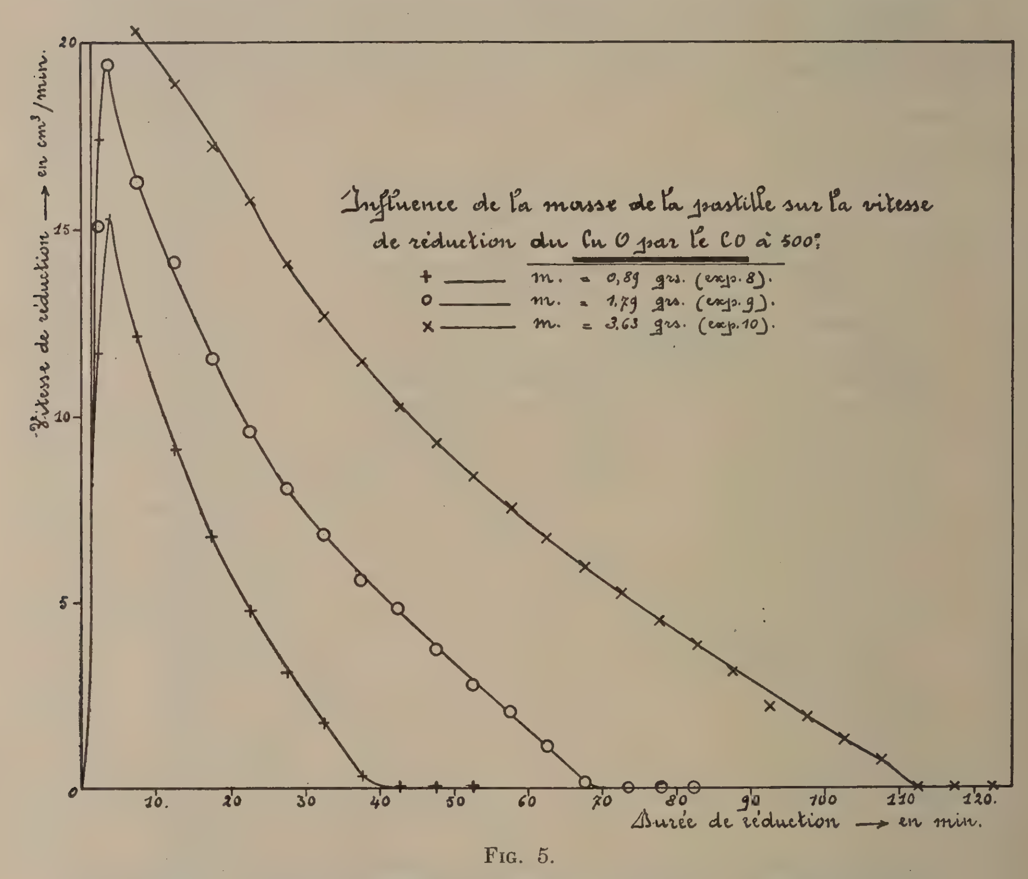


FIG. 5.

Influence du volume de l'échantillon d'oxyde sur l'allure de la réduction de CuO.

pastilles. On constate que cette durée croît plus lentement que le volume. c'est-à-dire que la quantité d'oxyde à réduire.

L'influence de la *température* est plus compliquée que celle du débit gazeux et du volume des pastilles. Une élévation de la température favorise la réduction, celle-ci ne devenant d'ailleurs mesurable qu'à partir d'une température donnée, généralement plus basse lorsqu'on réduit par l'oxyde de carbone que par l'hydrogène. Par contre, aux températures plus élevées, l'hydrogène se montre un réducteur plus énergique que l'oxyde de carbone. Il est à remarquer toutefois que dans le cas de l'oxyde de cuivre la durée de réduction totale par l'hydrogène passe par un minimum au voi-

Influence de la masse de l'échantillon sur la réduction totale.

Durée de réduction totale → en min.

100

50

1 2 3 Poids échantillon → en gram.

Fig. 6. — Action de la masse de l'échantillon sur sa durée de réduction totale.
(Réduction de CuO par CO à 500°.)

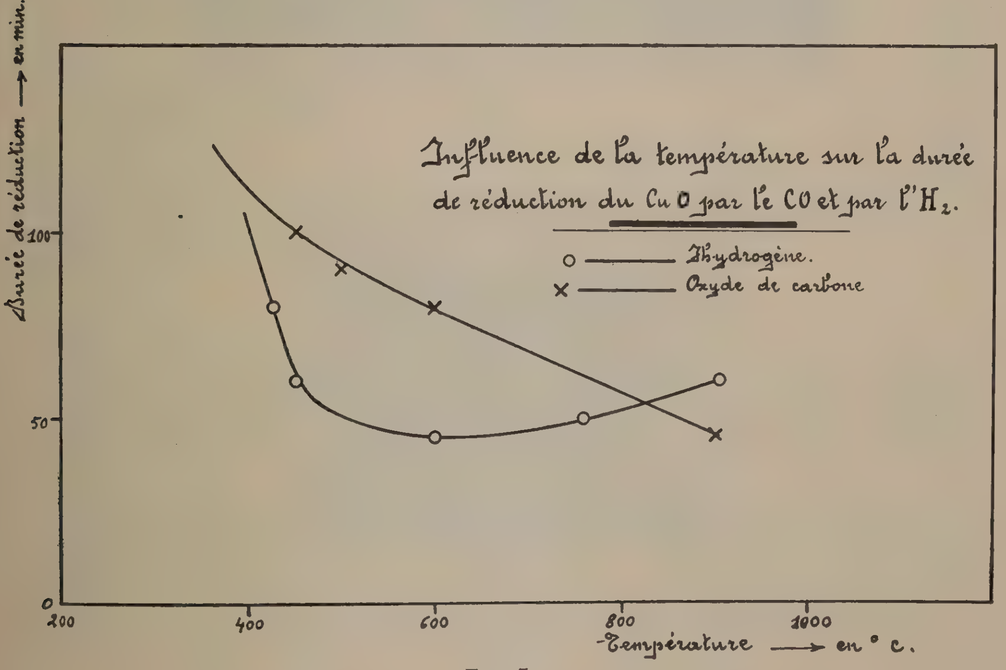


Fig. 7.
Action de la température sur la durée de réduction totale.

sinage de 600° et redevient vers 900° supérieure à celle observée à cette température avec l'oxyde de carbone (fig. 7) [1].

En étudiant l'influence de la température, nous avons constaté que la structure du métal réduit dépend de la vitesse de la réduction et se modifie avec le temps sous l'action combinée du gaz et du recuit. Cette modification, plus ou moins profonde et rapide suivant la nature du gaz et la température,

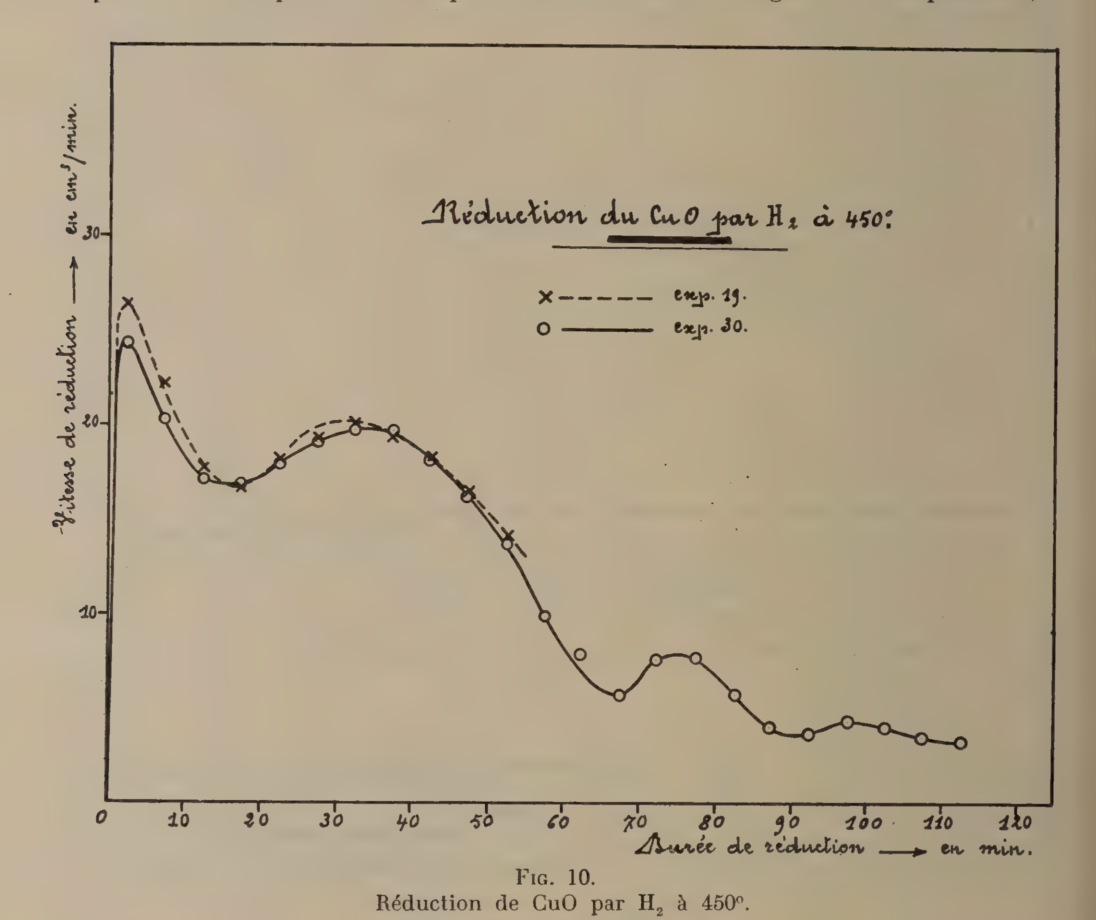


Fig. 10.
Réduction de CuO par H_2 à 450°.

peut être mise en évidence par l'examen métallographique des pastilles d'oxyde de cuivre incomplètement réduites, refroidies brusquement afin de figer leur structure [2]. On observe notamment que les grains du métal, qui ont primitivement la structure polyédrique des grains de l'oxyde com-

[1] A 900°, il n'est plus possible de réduire intégralement des pastilles d'oxyde de cuivre très compactes dont le volume est supérieur à 1 cm³. On observe, en effet, au bout d'une soixantaine de minutes, une chute brusque de la vitesse de réduction qui s'annule presque complètement alors qu'il reste encore au sein de la pastille un noyau d'oxyde non réduit.

[2] L'étude métallographique de ces pastilles est assez délicate à cause de la friabilité, de la porosité et de l'oxydabilité du métal réduit à basse température.

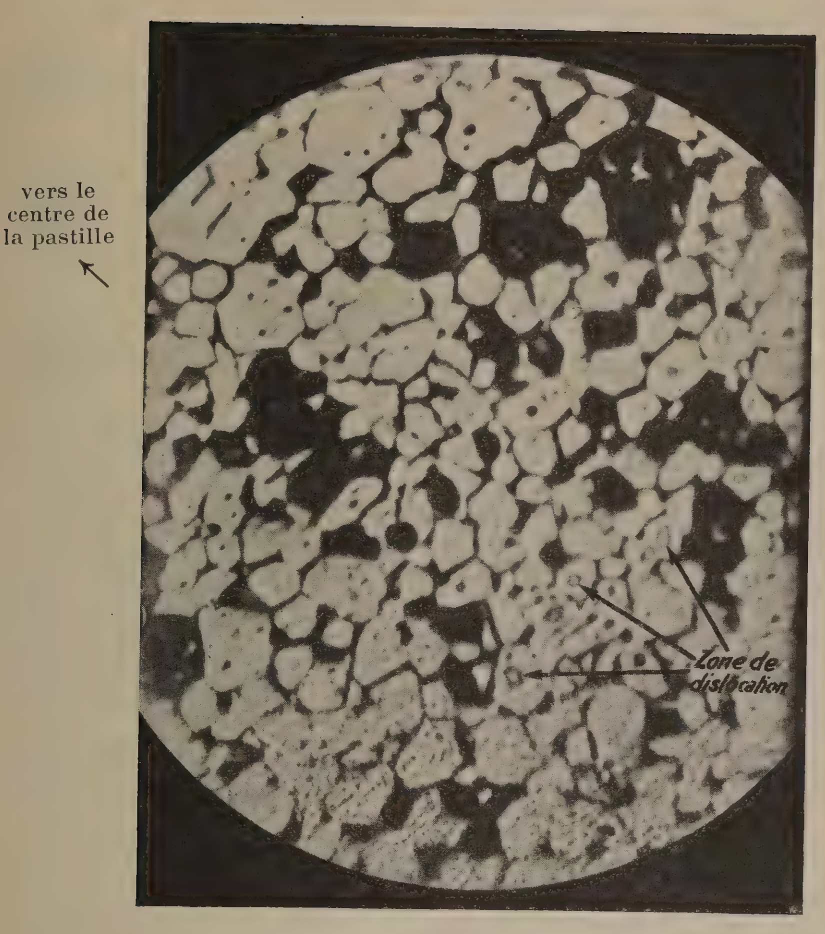


Fig. 8.
Cu fraîchement réduit par le H_2 à 550°.

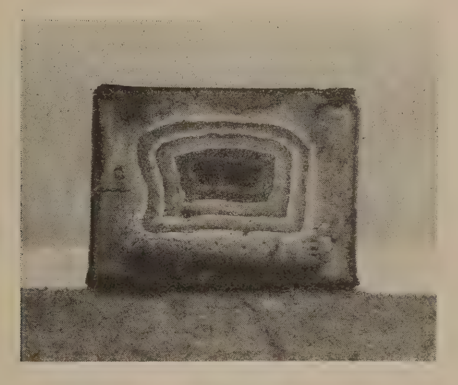


Fig. 9
Pastille de Cu provenant de la réduction de CuO par H_2 à 450°
(après attaque très légère par une solution de $Fe\ Cl^3$).

primé, au voisinage de la surface de séparation oxyde-métal se morcellent de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne de celle-ci vers la périphérie (fig. 8).

Cette modification de structure du cuivre réduit, qui entraîne sans doute une augmentation de la perméabilité du métal au gaz, explique, croyons-nous, l'allure sinusoïdale très curieuse et parfaitement reproductible des courbes vitesses-temps obtenues en réduisant des pastilles d'oxyde de cuivre par de l'hydrogène au voisinage de 450° (fig. 10).

Considérons, en effet, une première couche de cuivre réduit, qui, constituée au début par de gros grains bien soudés, est peu perméable au gaz réducteur. A ce moment l'oxyde sous-jacent est réduit avec une vitesse relativement faible, mais qui augmente à mesure que la couche métallique subit la première transformation de structure dont il vient d'être question. Mais en même temps s'accroît de nouveau l'épaisseur de la couche de cuivre peu perméable, d'où diminution de la vitesse de réduction de l'oxyde qu'elle recouvre. C'est cette formation continuelle de pelures de cuivre compact devenant peu à peu perméables au gaz réducteur qui explique la variation périodique de la vitesse de réduction, se traduisant par l'allure sinusoïdale des courbes vitesse-temps. Ces courbes redeviennent régulières si les conditions expérimentales sont telles que la transformation du cuivre compact en cuivre perméable progresse plus rapidement que la réduction de l'oxyde.

Remarquons pour terminer qu'en opérant dans des conditions convenables, on arrive à rendre le métal formé suffisamment perméable pour pouvoir réduire rapidement et complètement tout l'oxyde de cuivre, de nickel ou de cobalt, jusqu'au centre même des pastilles, et cela bien au-dessous du point de fusion du métal. La réduction d'échantillons d'oxyde compact peut donc être effectuée par les gaz à des températures bien plus basses que celles exigées par les procédés métallurgiques actuels (1).

---

(1) Ce travail a été fait avec l'aide du Fond National de la Recherche Scientifique.

L'ACTION CHIMIQUE DES RAYONS ALPHA

par W. MUND,

Professeur à l'Université de Louvain

Déjà à deux reprises, en juin 1924 (1) et en février 1927 (2), nous avons eu l'honneur d'exposer à la Société Chimique de Belgique l'état de nos connaissances sur les effets chimiques des rayons émis par les corps radioactifs (3). Les travaux passés en revue dans le second de ces rapports envisagent exclusivement l'action des rayons alpha sur des systèmes gazeux. C'est dans cette même voie que les recherches ont été poursuivies depuis lors, révélant quelques faits et faisant germer quelques idées. Nous nous efforcerons de résumer les uns et les autres, tout en les rattachant aux notions antérieurement acquises. Nous nous placerons successivement au point de vue des méthodes et des résultats et nous insisterons sur ce que ceux-ci laissent deviner de la physico-chimie particulière aux réactions radiochimiques.

1. — *Les méthodes de recherche*

I. — La première question qui se pose naturellement dans l'étude qui nous occupe est celle de la description chimique qualitative des réactions provoquées par les rayons. Très souvent ce problème ne présente aucune difficulté, par exemple dans l'ozonisation de l'oxygène, ou dans la formation d'ammoniac au sein d'un mélange d'hydrogène et d'azote. Mais, lorsqu'il s'agit des synthèses compliquées auxquelles donne lieu l'irradiation de mainte substance organique, l'extrême petitesse des quantités obtenues et surtout le chevauchement de réactions diverses rendent pour ainsi dire impossible l'application des méthodes analytiques usuelles.

L'étude des spectres d'absorption peut quelquefois fournir des renseignements assez complets, ainsi que le démontrent, dans un domaine très voisin, les recherches publiées en 1926 par MM. V. Henri et J. Errera (4) au sujet de l'action des rayons bèta et gamma sur le benzène et quelques-uns de ses dérivés à l'état de vapeur. Récemment M. A. Castille et M[lle] E. Ruppol ont photographié les spectres d'absorption ultraviolets d'hexane liquide ainsi que de diverses solutions d'ergostérol que nous avions préalablement soumis à l'action intensive des rayons α. Les résultats très caractéristiques qui ont été obtenus et qui feront l'objet d'une prochaine publication sont en parfaite harmonie avec les conclusions auxquelles conduit un tout autre mode d'expérimentation, auquel nous nous

sommes livré en collaboration avec M. Jos. Maisin et Mlle E. Pourbaix (5). Soumis à un régime rachitigène soigneusement éprouvé, de jeunes rats recevant en outre une solution paraffinique d'ergostérol irradiée par l'émanation furent entièrement préservés de rachitisme; des animaux témoins, recevant la même solution non irradiée présentèrent après trois à quatre semaines des lésions rachitiques très nettes reconnues par radiographie. Ces expériences préventives ont été complétées par d'autres, curatives. De même, l'action de l'émanation *in vivo* a été essayée avec quelque succès dans la guérison du rachitisme expérimental.

Citée ici en raison de son intérêt propre, cette expérimentation biologique se trouve évidemment restreinte à un cas trop particulier pour entrer en ligne de compte au point de vue général des réactions radiochimiques. A ce point de vue, il nous semble que l'on doit écarter également les conclusions par analogie que l'on pourrait être tenté de tirer de l'étude des effets chimiques de l'effluve. Très intéressante en elle-même, cette étude, commencée par Berthelot a été continuée par un grand nombre d'auteurs, parmi lesquels l'on citerait en premier lieu M. A. de Hemptinne. Dans certains cas tout au moins les produits obtenus par l'effluve diffèrent totalement de ceux obtenus par les rayons α. A titre d'exemple l'on peut mentionner l'acétylène. L'effluve transforme ce gaz en un liquide visqueux, coloré, s'épaississant progressivement et absorbant avidement l'oxygène. Le radon mélangé à l'acétylène (6) provoque le dépôt d'un corps solide, jaune clair pulvérulent et extrêmement léger, dont la composition est sans doute voisine de celle du cuprène obtenu par Sabatier. Cette différence entre l'effluve et les rayons est importante au point de vue théorique. Elle apparaît avec une égale netteté dans certains systèmes inorganiques. C'est ainsi que M. Jules Maisin, étudiant l'action du radon sur un mélange de SO_2 et d'O_2, n'a pu mettre en évidence que la formation de SO_3. Le même mélange (en proportion il est vrai différente) a donné sous l'action de l'effluve un oxyde de soufre qui a été décrit pour la première fois par M. J. Maisin (7) à cette occasion et qui exige la formule S_3O_{11}.

II. — Toutes les fois que le produit de la réaction radiochimique peut être identifié, et parfois même en dehors de cette éventualité, il importe de suivre quantitativement les progrès de la transformation. Parfois les méthodes ordinaires de la chimie analytique sont applicables, comme, par exemple, dans l'étude de la radiosynthèse de l'NH_3, où M. E. Ponsaerts a pu titrer acidimétriquement la quantité d'NH_3 accumulée dans un ballon après la destruction d'une quantité exceptionnelle de radon (0,162 curie). Le plus souvent, l'on doit avoir recours à des méthodes quelque peu modifiées, constituant, en fait, des méthodes microanalytiques. C'est ce que nous avons essayé de faire avec M. R. Gillerot en appliquant le nitromètre de Lunge à la détermination de la quantité des oxydes supérieurs de l'azote formée au sein de l'oxyde NO irradié par le radon. C'est également à l'échelle de la microanalyse que M. Gillerot a récemment appliqué des

procédés gaz-volumétriques à l'étude de la formation et de la décomposition de l'H Br.

Lorsque la réaction étudiée s'accompagne d'une variation du nombre des molécules, il est très désirable de compléter les dosages par des déterminations manométriques qui, dans certains cas, peuvent même les remplacer entièrement. A ce propos, nous signalerons comme un progrès l'introduction récente d'une technique basée sur l'emploi de manomètres élastiques entièrement en verre. Ces petits appareils, fabriqués au laboratoire, présentent, lorsqu'on les observe au microscope, une sensibilité pouvant dépasser celle d'un manomètre à mercure. Ils présentent surtout le très grand avantage de permettre l'étude d'un gaz en contact avec le verre seulement, à l'exclusion notamment de toute surface mercurielle. Ce n'est que grâce à cet artifice qu'il a été possible d'obtenir des résultats concordants dans l'étude de la synthèse de l'NH_3, à cause de la formation radiochimique d'un nitrure de mercure.

III. — La nature d'une réaction radiochimique étant connue et sa vitesse ayant été mesurée, il subsiste un troisième et dernier problème expérimental qui consiste à rapporter l'effet chimique à une certaine intensité d'irradiation. A cet effet, il ne suffit certainement pas de déterminer la quantité de radon détruite, il faut encore connaître la fraction du rayonnement absorbée par les gaz en réaction. En photochimie, on énonce sous le nom de loi de GROTTHUS-DRAPER ([8]), la proportionnalité de l'effet chimique à l'énergie absorbée. En radiochimie l'évidence d'une loi analogue a été clairement comprise par E. WOURTZEL ([9]). Cette loi peut se formuler comme suit : Le long d'un élément de chemin, dx, l'effet chimique produit par une particule α est proportionnel à l'énergie que cette particule a perdue. Si l'on admet que la particule α ne perd que de l'énergie cinétique et si l'on admet en outre que, suivant la loi de Geiger, la vitesse de la particule est à chaque instant proportionnelle à $(R - x)^{1/3}$ (où R est la portée de la particule α et x le chemin déjà parcouru), l'on arrive à cette conclusion que la perte d'énergie le long de dx est proportionnelle à $\frac{dx}{(R - x)^{1/3}}$ L'on admet enfin que le nombre des paires d'ions produites par une particule α est en raison directe de sa perte d'énergie, en sorte que, pour chaque gaz, l'énergie requise pour l'ionisation d'une molécule peut servir d'unité pour la mesure de l'énergie absorbée. Cette unité se trouve convenir particulièrement (en dehors de toute conception théorique) lorsqu'il s'agit de l'énergie absorbée correspondant à la transformation chimique d'une molécule. En effet, dans l'immense majorité des cas étudiés jusqu'à présent, le nombre M des molécules chimiquement transformées et le nombre I des paires d'ions produits par les rayons α se sont montré du même ordre de grandeur. A part une seule exception certaine (la formation de l'HCl, qui comporte un mécanisme cyclique ([10])), les rapports M/I restent compris entre 0,2 et 20.

En 1926, nous avons publié des tables numériques qui facilitent le

calcul de l'ionisation à l'intérieur d'un volume sphérique contenant une quantité donnée de radon répartie uniformément, ainsi que les quantités correspondantes de $Ra\,A$ et de $Ra\,C$ en équilibre déposées à la surface. Cependant un autre problème, d'égale importance pratique, subsistait, ou tout au moins n'avait pas encore été résolu en tenant compte de la loi de Geiger. Dans bon nombre de recherches radiochimiques, l'on trouve avantageux d'enfermer le radon dans une très petite sphère en verre, dont le rayon a ne dépasse pas 1 mm. et dont les parois présentent une épaisseur ε de l'ordre de quelques microns de manière à n'absorber qu'assez peu les rayons α. Il s'agit alors de calculer l'ionisation produite à l'intérieur d'un volume sphérique concentrique de rayon $L+a$ (où L est grand à côté de a). Ces derniers jours, nous avons abordé ce problème. Il peut être facilement résolu (tout au moins numériquement) du moment que l'on égale à $\varepsilon/\cos\Theta$ l'épaisseur de verre E traversée par une particule α abordant la paroi de la petite sphère sous un angle d'incidence Θ. L'erreur ainsi commise est petite ; le calcul exact donne

$$\text{Cos}\,\theta = \frac{\varepsilon}{E} + \frac{\varepsilon^2}{2aE} - \frac{E}{2a}.$$

Or, E est petit à côté de a, puisque E ne peut dépasser une limite très réduite correspondant à la portée de la particule α dans le verre. Désignant par s le pouvoir d'arrêt du verre, c'est-à-dire le rapport des portées dans l'air et dans le verre, par R_1, R_2 et R_3, les portées dans l'air normal (sous pression atmosphérique et à 0° C.) des particules émises respectivement par le Rn, le $Ra\,A$ et le $Ra\,C$, l'on obtient, si le gaz qui entoure la petite sphère est de l'air normal et si L ne dépasse pas $R_1 - \varepsilon s$, l'expression suivante de l'ionisation :

$$I = \frac{8}{3} k_0 \pi N \varepsilon s \int_{l=o}^{l=L} dl \left\{ 3\varepsilon^2 s^2 \int_{R=l}^{R=R_1-\varepsilon s} \frac{dR}{(R_1-R)^4 (R-l)^{1/3}} + \int_{R=l}^{R=R_2-\varepsilon s} \frac{dR}{(R_2-R)^2 (R-l)^{1/3}} + \int_{R=l}^{R=R_3-\varepsilon s} \frac{dR}{(R_3-R)^2 (R-l)^{1/3}} \right\}$$

Dans cette formule, l désigne une distance mesurée à partir de la surface de la petite sphère, N est le nombre de particules que la quantité totale de radon contenue dans la petite sphère envoie par unité de temps dans l'unité d'angle solide. Enfin k_o, égal à $6{,}76 \times 10^4$, est une constante que l'on obtient en divisant par $R_1{}^{2/3}$ le nombre de paires d'ions que produit dans l'air normal une particule α émise par le radon. Une formule un peu différente s'établit facilement lorsque L est compris entre $R_1 - \varepsilon s$ et $R_2 - \varepsilon s$, entre $R_2 - \varepsilon s$ et $R_3 - \varepsilon s$, ou enfin dépasse $R_3 - \varepsilon s$. Quand le gaz qui entoure la petite sphère n'est pas de l'air, ou n'est pas de l'air normal, il

suffit de remplacer L par une *longueur équivalente*, obtenue en divisant L par le pouvoir d'arrêt du gaz considéré, et de multiplier le résultat par une constante spécifique d'ionisation. Nous nous proposons de publier prochainement des tables basées sur l'intégration par voie graphique de l'expression ci-dessus. L'utilité de ces calculs dépend évidemment du degré de régularité que présente l'épaisseur de la paroi de la petite boule.

§ 2. — *Réactions radiochimiques dont l'étude a été commencée ou continuée au cours des trois dernières années*

I. — Un des premiers travaux de S.-C. Lind [11], dont les recherches ont tant contribué au développement de la radiochimie, concerne la formation de l'ozone dans l'oxygène exposé aux rayons α. Reprise ultérieurement par M. J. D'Olieslager et par nous-même [12], l'étude assez délicate de cette réaction avait abouti aux conclusions suivantes.

1° Pour une intensité donnée d'irradiation, l'ozone se forme avec une vitesse constante, en même temps qu'il se détruit avec une vitesse proportionnelle à sa propre concentration ;

2° La vitesse des deux réactions inverses est proportionnelle, toutes choses égales d'ailleurs, à l'intensité d'irradiation ;

3° La vitesse calculée de la réaction directe fait correspondre à chaque paire d'ions formée la production d'une molécule d'ozone.

Depuis lors, MM. Lind et Bardwell [13] ont admis l'existence d'un équilibre radiochimique résultant de l'égalité de vitesse de deux réactions inverses. Par contre, ces auteurs estiment qu'il y aurait lieu de majorer la valeur que nous avions assignée au rapport M/I. Leurs expériences peu nombreuses et peu concordantes ne leur ont d'ailleurs pas permis de préciser, ne fût-ce qu'à 50 % près, la grandeur de la majoration qu'ils proposent.

De son côté, M. J. D'Olieslager vient de mesurer, par une méthode tout à fait directe, la vitesse de destruction de l'ozone sous l'action des rayons α et retrouve, en parfait accord avec la première de nos conclusions antérieures, la proportionnalité de cette vitesse, à la concentration en ozone. En présence des affirmations de MM. Lind et Bardwell, nous nous proposons de soumettre à une nouvelle vérification la deuxième et la troisième de nos conclusions. Si la deuxième se trouvait en défaut, l'on s'expliquerait sans peine l'origine du désaccord quant à la valeur M/I, mais ce serait le premier exemple d'une réaction radiochimique où, contrairement à la loi de Wourtzel, la quantité de matière transformée ne serait pas en raison directe de l'énergie absorbée. Si la troisième de nos conclusions devait se trouver en défaut sans que la seconde le fût, nous rappellerions ce que nous écrivions nous-même en 1927 : « La valeur du rapport R qui vient d'être obtenue, ne s'applique que pour autant que la destruction de l'ozone se fait dans le tube T conformément aux équations $Hg + O_3 = HgO + O_2$ ou $2Hg + O_3 = Hg_2O + O_2$. Si, en outre, par un effet purement catalytique, soit du mercure, soit des oxydes de mercure, de l'ozone

se détruisait suivant l'équation $2 O_3 = 3 O_2$, la valeur de R devrait être augmentée. »

Il convient de signaler aussi ce que les récentes expériences de M. D'Olieslager nous apprennent au sujet de l'ordre de grandeur du rapport M/I dans la réaction de désozonisation. Pour un mélange d'O_2 et d'O_3, renfermant en moyenne, 0,5 % du second constituant, le rapport M/I est voisin de 6, à condition d'entendre par I le nombre total des paires d'ions produites par le mélange. A supposer que la proportionnalité de la vitesse de réaction à la concentration de l'ozone subsiste jusqu'à des concentrations assez élevées, l'on peut prévoir, pour cette réaction, des valeurs de M/I supérieures même à celle qui a été observée dans la polymérisation de l'acétylène.

II. — En avril 1928, M. Jules Maisin ([14]) a publié une étude de l'action floculante du radon sur les sols d'or préparés selon la méthode de Zsigmondy. Avec l'étude de l'hexane et de la solution d'ergostérol mentionnée plus haut, ces expériences sont les seules qui aient été faites sur des systèmes liquides.

III. — C'est encore M. Maisin ([15]) qui a abordé l'étude du mélange équimoléculaire d'anhydride sulfureux et d'oxygène. Il se forme de l'anhydride sulfurique avec une vitesse correspondant à une valeur de M/I sensiblement égale à 1. Nous avons déjà insisté sur le fait que le problème observé ici diffère notablement de celui qui se produit dans l'effluve.

IV. — L'étude de la décomposition de l'NH_3 a été faite d'une manière définitive par Wourtzel. Nos recherches effectuées en 1926 avec M. W. Koch ([16]) n'ont pu que confirmer pour la température ordinaire le résultat obtenu par notre prédécesseur.

En revanche, pour ce qui est de la formation de l'NH_3 à partir d'un mélange d'H_2 et d'N_2, les anciennes mesures de Usher ([18]) laissaient subsister une extrême indétermination. En collaboration avec M. Koch, nous avons constaté que la vitesse de cette réaction est parfaitement mesurable par manométrie et nous avons indiqué 0,41 comme valeur du rapport M/I.

Depuis lors, MM. Lind et Bardwell ([17]) ont publié des expériences effectuées par une méthode chimique. Ils trouvent pour M/I des chiffres très variables compris entre 0,15 et 0,27.

Enfin M. E. Ponsaerts ([19]) a su employer une technique expérimentale donnant des résultats très concordants, à la fois par titrage et par manométrie. La valeur du rapport M/I, en désignant par I l'ionisation totale d'un mélange d'H_2 et d'N_2, reste constante dans un large intervalle de concentration et de température et est voisine de 0,32. Déjà dans notre travail avec M. Koch nous avions signalé une cause d'erreur susceptible de faire trouver dans ces expériences une valeur trop élevée du rapport M/I. Les recherches de M. Ponsaerts ont souligné l'importance de cette cause d'erreur en démontrant, mieux que nous ne l'avions fait, la formation

d'un nitrure de mercure sous l'action des rayons α. C'est cette formation de nitrure qui doit avoir vicié les résultats de Usher.

En ce moment, MM. D'Olieslager et Jungers viennent de terminer des expériences minutieuses sur l'équilibre radiochimique dans une mélange des trois gaz H_2, N_2 et NH_3. Ces expériences ont confirmé le rapport des vitesses de décomposition et de formation de l'NH_3, tel qu'il résultait des travaux mentionnés ci-dessus. Elles conduisent avant tout à une conclusion nouvelle, très remarquable : la concentration d'équilibre dans un système qui est le siège de deux réactions radiochimiques inverses, diffère de la concentration que l'on calculerait à partir des vitesses initiales de ces deux réactions.

V. — Dans les travaux de M. Ponsaerts, comme dans ceux de MM. D'Olieslager et Jungers sur l'NH_3, le degré de précision obtenu doit être attribué avant tout à l'emploi du manomètre élastique en verre, permettant d'exclure la vapeur de mercure. Cette technique a été d'abord mise au point dans un travail que nous avons effectué en janvier 1927 en collaboration avec M. Ponsaerts, sur la prétendue condensation de l'H_2 sous forme triatomique. L'existence de H_3 avait été affirmée par Wendt [20], sur la base d'expériences manométriques que nous avons contrôlées par la nouvelle méthode. Le résultat fut très net : aucune contraction ne peut être observée lorsque l'on irradie de l'H_2 très pur par les rayons α. De plus, le mercure n'est nullement attaqué par l'H_2 irradié, pourvu que des précautions suffisantes soient prises en ce qui concerne la pureté des corps. Le premier de ces deux résultats négatifs était d'ailleurs à prévoir pour des raisons théoriques que nous avons développées au dernier congrès de chimie Solvay [21].

VI. — C'est en collaboration avec M. R. Gillerot [22], que nous avons effectué en 1929 un travail sur les transformations radiochimiques observées au sein de l'oxyde d'azote NO. Avec un degré de concordance que nous avons été très heureux de pouvoir atteindre, nous avons appliqué diverses méthodes chimiques ainsi que la manométrie. Comme réaction primaire, la seule produite par les rayons α ,le NO se décompose en ses éléments avec un rendement ionique de 0,78. Le phénomène se complique d'ailleurs par l'interventoin de réactions secondaires, dont nous avons pu vérifier la parfaite conformité aux données que l'on possède sur les équilibres entre les oxydes de l'azote NO, N_2O_3, N_2O_4 et NO_2. Cette réaction nous apporte ainsi le premier exemple d'un effet manométrique qui n'est pas proportionnel à la quantité de radon détruite, sans que, bien entendu, la loi de Wourtzel se trouve par là mise en défaut.

La réaction inverse, comportant la formation de divers oxydes d'azote dans un mélange d'N_2 et d'O_2 a été récemment signalée par MM. Lind et Bardwell [13]. Toutefois, par suite de la formation concomitante d'ozone il n'a pas été possible dans ce cas de donner une interprétation quantitative.

VII. — M. R. Gillerot a étudié cette année-ci, par des méthodes gazvolumétriques, la formation et la décomposition radiochimiques de l'H Br. Dans une des premières publications de LIND, en 1911, ces réactions ont déjà été envisagées ([23]). En ce qui concerne la décomposition, M. Lind affirme que la vitesse de cette réaction est trop petite pour pouvoir être mesurée. A l'encontre de cette conclusion, M. Gillerot établit une valeur plutôt élevée du rapport M/I qu'il trouve égal à 4,3. En ce qui concerne la formation de l'H Br dans un mélange d'H_2 et de Br_2, M. Gillerot a eu soin de faire varier la concentration du mélange. Il a pu ainsi constater que dans ce cas, le rapport M/I, loin de rester constant dans un intervalle de concentration très large, varie au contraire en fonction de la concentration du mélange. Chose remarquable, le maximum de vitesse ne s'observe pas dans le mélange équimoléculaire, mais à la concentration de 15 à 20 % de Br. La valeur de M/I est alors de 2,9, tandis que dans un mélange équimoléculaire, elle n'est plus que de 0,5. Ce dernier chiffre concorde avec la seule donnée quantitative publiée à ce sujet par LIND ([3]).

VIII. — Des travaux récents qui viennent d'être passés en revue se dégagent quelques conclusions d'ensemble. Les vitesses des réactions provoquées par les rayons α, de même que les équilibres s'établissant dans les systèmes gazeux irradiés paraissent échapper dans une certaine mesure aux lois les plus générales de la cinétique et de la statique chimiques.

A. — Dans le cas des réactions qui ne font intervenir qu'une seule espèce de molécules, le rapport M/I n'est nullement constant, si l'on désigne par I l'ionisation produite aux dépens de la même espèce moléculaire. Il l'est peut-être tant que la concentration du gaz réagissant au sein du gaz inerte est très faible. C'est ce qui a été démontré expérimentalement pour la destruction de l'ozone et c'est ce que l'on peut considérer comme possible dans d'autres cas. Mais lorsque la concentration du gaz réagissant croît et tend à devenir prépondérante, le rapport M/I cesse d'être constant (toujours en entendant par I l'ionisation aux dépens du gaz réagissant). Ce fait important, que les recherches de LIND ([25]) ont tout d'abord mis en évidence, à propos de la polymérisation de l'acétylène que nous venions de signaler et d'étudier à un autre point de vue ([25]), renverse évidemment la théorie « électrolytique » des réactions radiochimiques. C'est ce que nous avons fait ressortir dès 1927 ([2]). En effet, quel sens précis peut conserver une loi analogue à celle de Faraday si l'on rapporte l'effet chimique à des quantités d'électricité transportées, non seulement par les ions appelés à se transformer chimiquement mais aussi par d'autres ions, étrangers à la réaction?

B. — Dans le cas de réactions radiochimiques qui font intervenir deux espèces moléculaires, la loi d'action des masses ne s'applique nullement C'est ce que montrent à l'évidence les recherches susmentionnées de M. Gillerot, puisque, dans le cas de la synthèse de l'H Br, aucun maximum de vitesse ne s'observe à la concentration stœchiométrique du mélange.

C. — Enfin dans le cas de l'équilibre radiochimique de trois gaz, l'étude du système N_2, H_2 et NH_3 a démontré que les concentrations d'équilibre ne sont pas celles qui correspondent aux vitesses des réactions inverses isolées. A ce propos, nous ferons observer que le sens de l'écart est bien celui que l'on peut prévoir en adoptant au sujet du mécanisme des réactions radiochimiques, l'opinion que nous avons émise dans notre rapport de 1927. Nous avons alors attribué un rôle prépondérant à la formation d'essaims moléculaires autour de chaque ion, essaims se dispersant au moment de la neutralisation. Cette conception a été formulée depuis lors d'une manière indépendante par M. Rideal ([26]). Cet auteur, lui aussi, a basé ses calculs sur la considération du moment électrique des molécules. D'après cette manière de voir, l'NH_3, dont le moment moléculaire est très élevé à côté de celui de l'H_2 et de l'N_2, doit intervenir en proportion prépondérante dans les essaims dont nous parlions tantôt. C'est très probablement cette circonstance qui fait se déplacer l'équilibre radiochimique en faveur de la décomposition.

D. — Quoi qu'il en soit dans ce cas et dans d'autres, les concentrations qui assurent l'équilibre radiochimique sont très différentes des concentrations d'équilibre que l'on calculerait en extrapolant les courbes établies, aux températures de mobilité chimique suffisante, en dehors de tout effet radiochimique. Doit-on voir dans ce fait une contradiction avec les lois thermodynamiques qui président aux réactions chimiques ordinaires? Assurément non. Nous estimons que la meilleure manière de se rendre compte de l'absence de contradiction entres deux ordres de faits est de songer à ce qui se passe lorsque, dans une atmosphère de vapeur d'eau, l'on introduit un fil de platine à haute température. Au voisinage immédiat de ce catalyseur chauffé, s'établit rapidement un état de dissociation correspondant à la température du catalyseur. Avant que l'équilibre n'ait eu le temps de se déplacer d'une manière sensible, une partie des gaz dissociés se transporte par diffusion en des régions où la température est trop basse pour qu'un déplacement ultérieur de l'équilibre puisse encore se produire. Ainsi finit par régner dans toute l'enceinte un état de dissociation qui ne correspond nullement à la température moyenne, mais plutôt à la température du fil de platine. Il doit en être à peu près de même dans un gaz irradié par le radon. Le long de la trajectoire de chaque particule α, les essaims moléculaires concentrés autour de chaque ion acquièrent, au fur et à mesure de leur développement, une température, une pression et une composition locales de plus en plus différentes de la température, de la pression et de la composition moyennes du mélange gazeux. La neutralisation de l'ion détermine la dispersion instantanée des molécules et réalise évidemment d'une manière plus efficace que ne saurait le faire une simple diffusion, le passage brusque, des conditions locales et temporaires qui prévalaient finalement dans l'essaim, aux conditions moyennes réalisées dans le mélange. Dès lors, s'il est vrai que l'état d'équilibre, ou plutôt de faux équilibre, qui finit par s'établir dans une enceinte renfermant un catalyseur chauffé peut être considéré comme caractéristique de

la température de ce catalyseur, nous pouvons penser de même que l'équilibre radiochimique, par exemple entre l'H_2, l'N_2 et l'NH_3, résulte de la conservation de l'état réalisé dans chaque essaim au moment de sa dispersion. Cet état n'est d'ailleurs pas nécessairement l'état d'équilibre correspondant aux conditions finales de température, de pression et de composition réalisées en moyenne dans les essaims.

BIBLIOGRAPHIE

(1) *Bull. Soc Chim. Belg.*, **33**, 389 (1924).
(2) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **36**, 19 (1927).
(3) S. C. Lind, *The Chemical effects of alpha particles and electrons ;* 2e édit., New-York (1928).
(4) *Journ. de Phys. et Rad.*, S. VI, **7**, 225 (1926).
(5) *Comptes rendus Soc. belge de Radiolog.*, **103**, 534 (1930).
(6) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **34**, 119 (1925).
(7) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **37**, 326 (1928).
(8) A. Berthoud, *Photochimie*, 63; Paris (1928).
(9) *Le Radium*, **2**, 289 et 332 (1919).
(10) *Journ. Amer. Chem. Soc.*, **48**, 2603 (1926).
(11) *Le Radium*, **9**, 104 (1912) et **10**, 33 (1913).
(12) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **36**, 400 (1927).
(13) *Journ. Amer. Chem. Soc.*, **51**, 2751 (1929).
(14) *Ann. Soc. Scient. Brux.*, **48**, 48 (1928).
(15) *Ann. Soc Scient. Brux.*, **47**, 172 (1927).
(16) *Ann. Soc Scient. Brux.*, **45**, 279 (1926).
(17) *Journ. Amer. Chem. Soc.*, **50**, 745 (1928).
(18) *Trans. Chem. Soc.*, **97**, 389 (1910).
(19) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **38**, 110 (1929).
(20) *Journ. Amer. Chem. Soc.*, **42**, 930 (1920) et **44**, 510 (1922).
(21) *Troisième Cong. Chim. Solvay*, 86 ; Paris (1928).
(22) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **38**, 343 (1929).
(23) *Le Radium*, **8**, 289 (1911).
(24) *Science*, **42**, 593 (1925).
(25) *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **34**, 241 (1925).
(26) *Troisième Cong. Chim. Solvay*, 10 ; Paris (1928).

SUR L'ÉQUILIBRE RADIOCHIMIQUE DANS LE SYSTÈME AMMONIAQUE, AZOTE ET HYDROGÈNE

par J. F. D'OLIESLAGER.

Laboratoire de chimie-physique de l'Université de Louvain

La synthèse et la décomposition de l'ammoniaque peuvent être classées parmi les réactions les mieux étudiées en radiochimie.

Signalons brièvement les travaux les plus importants publiés en cette matière.

En 1910, Usher établit que l'ammoniaque se décompose rapidement sous l'effet du Radon, proportionnellement, non seulement à la quantité d'émanation présente, mais aussi à la pression partielle du gaz réagissant.

En 1919 parurent les admirables recherches de Wourtzel sur la décomposition de l'ammoniaque sous l'effet des particules α et sur l'influence de la température sur la vitesse de cette réaction. Comme valeurs du rapport M/I (nombre de molécules réagissantes, rapporté au nombre de paires d'ions produits dans le gaz au cours de la réaction) l'auteur donne :

pour 18° : 0,80
108° : 1,58
220° : 2,33
315° : 2,55

Plus récemment Mund et Koch ont confirmé ce travail. Ces auteurs indiquent en outre pour la réaction inverse un rapport M/I égal à 0,41 à la température de 25°.

Peu après Lind et Bardwell publièrent, comme résultats d'une recherche sur la même réaction des rapports M/I variant entre 0,276 et 0,155.

En 1929 enfin Ponsaerts parvint à déterminer avec plus de précision le rapport M/I pour la formation de l'ammoniaque. Il le trouve égal à 0,32. Il montre également qu'ici le coefficient de température est peu important, contrairement à ce qui a lieu pour la réaction inverse.

Etudiant l'action du Radon sur le mélange azote et hydrogène en proportions variables il trouve que la courbe représentative des rendements ioniques en fonction de la composition du mélange présente un palier nettement défini pour des concentrations comprises entre 0,25 et 0,75 et tombe brusquement pour des concentrations supérieures et inférieures à ces chiffres.

Se basant sur la valeur de 0,32 pour le rapport M/I de synthèse et sur les valeurs établies par Wourtzel pour la réaction inverse Ponsaerts calcule pour la concentration d'équilibre dans le système ammoniaque et mélange

stœchiométrique d'azote et d'hydrogène la valeur de 13,8 % d'ammoniaque. L'auteur fait remarquer d'ailleurs que ce calcul n'est possible qu'en admettant l'hypothèse simplificatrice que la vitesse de réaction du mélange se ramène à la somme des deux vitesses inverses calculées pour les composants purs.

Vérifier la valeur de cette hypothèse et déterminer expérimentalement le point d'équilibre, tel est le but du présent travail.

1. — *Technique expérimentale*

Les gaz destinés à cette étude furent préparés et purifiés avec le plus grand soin. Ils furent ensuite emmagasinés dans des ballons d'une capacité suffisante pour pouvoir fournir au cours de toute la série des expériences des gaz de pureté constante.

Les trois ballons munis des robinets nécessaires étaient reliés par une canalisation entièrement soudée, à une chambre de mélange, d'un volume de 100 cc., munie d'un manomètre et maintenue à température approximativement constante. Cette disposition permettait de réaliser des mélanges à composition variable en ammoniaque, azote et hydrogène. Du mélangeur le gaz passait dans la chambre de réaction en traversant un tube contenant des feuilles d'or, destinées à retenir les vapeurs de mercure.

La chambre de réaction était constituée par un volume sphérique d'environ deux centimètres de rayon, communiquant par sa partie inférieure avec un manomètre élastique en verre. Ce manomètre était enfermé dans un volume auxiliaire qu'un robinet à large voie permettait à volonté de mettre en communication avec la boule à réaction de façon à amener l'aiguille du manomètre au zéro.

Au centre de la chambre à réaction se trouvait l'émanation, enfermée dans une sphère d'environ un millimètre de diamètre, à parois suffisamment minces pour ne réduire que dans une faible proportion le parcours des particules α.

Un microscope permettait de suivre les mouvements de l'aiguille du manomètre élastique et de lire les variations de pression à un vingtième de millimètre près.

La chambre de réaction et le volume auxiliaire contenant le manomètre plongeaient dans un thermostat dont la température était maintenue à 25°.

Pour faire une expérience, voici comment on procédait.

On commençait par réaliser un vide supérieur à un millième de millimètre dans les chambres de mélange et de réaction, ainsi que dans les canalisations reliant ces appareils aux réservoirs à gaz. Ensuite après avoir coupé la communication entre la chambre de réaction et le volume du mélangeur, on admettait dans ce dernier les gaz à la pression voulue pour réaliser un mélange déterminé. Les gaz étaient ensuite déplacés par du mercure et refoulés dans l'appareil à réaction. A ce moment la communication entre la boule à réaction et le volume auxiliaire était encore ouverte. On ne la coupait que quand on pouvait estimer que toute la masse gazeuse avait pris la température du thermostat.

A différents intervalles de temps on notait alors le déplacement de l'aiguille du manomètre, ce qui nous permettait d'assigner une vitesse de réaction déterminée, dans l'un ou l'autre sens au mélange en expérience. Comme l'émanation décroissait au cours des expériences il y avait lieu de ramener les lectures à un temps initial arbitraire ce qui fut fait par la formule

$$V_0 = \frac{P_2 - P_1}{\frac{1}{\lambda}\left(e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2}\right)}$$

2. — Résultats

Tout d'abord quelques expériences ont été effectuées sur l'ammoniaque pur à différentes pressions, surtout dans le but de déterminer les constantes de l'appareil.

Une série d'expériences, faites à des pressions variant entre 30 et 75 cm. permettent de conclure que, dans les conditions réalisées et en dessous d'une pression de 50 cm. environ, la vitesse de réaction croît proportionnellement à la pression. La courbe exprimant la vitesse de décomposition en fonction de la pression peut être considérée comme approximativement rectiligne pour des pressions comprises entre 0 et 50 cm.

Cinq expériences analogues furent faites avec le mélange stœchiométrique d'azote et d'hydrogène, à des pressions variables. Ici la linéarité est sauvegardée jusqu'à pression atmosphérique et semble même se prolonger assez bien au delà.

Le retard mis à atteindre la valeur de saturation qui caractérise cette dernière courbe est dû au faible pouvoir d'arrêt, que possède, vis-à-vis des particules α le mélange d'hydrogène et d'azote.

Il est clair en effet que pour des pressions relativement basses, alors qu'une fraction notable du rayonnement n'est pas absorbée et se perd dans la paroi de la boule de réaction, la vitesse de réaction doit croître à peu près proportionnellement à la pression. Si cependant on continue à augmenter celle-ci, on doit finalement atteindre une limite où tout le rayonnement est absorbé. A partir de ce moment une augmentation de pression n'aura plus d'influence sur la vitesse de réaction du gaz considéré. Le pouvoir d'arrêt de l'ammoniaque étant à peu près deux fois plus fort que celui du mélange stœchiométrique on peut facilement en inférer que la valeur de saturation sera plus rapidement atteinte pour l'ammoniaque que pour le mélange.

Portons en un même diagramme les valeurs absolues des coordonnées qui déterminent la partie rectiligne des deux courbes. Il est alors à noter que toute droite, parallèle à l'axe des pressions et coupant les deux courbes sera partagée par ces courbes en des segments proportionnels à la pression partielle que devront avoir dans le mélange d'équilibre les deux composants gazeux.

Cette conclusion n'est d'ailleurs légitime que pour autant que les vitesses des deux réactions inverses conservent leur indépendance dans le

mélange. Comme d'ailleurs la même hypothèse est à la base du calcul de la concentration d'équilibre indiqué par Ponsaerts, nos résultats devraient être comparables. En effet, alors que Ponsaerts trouve 13,8 % comme concentration de l'ammoniaque dans le mélange d'équilibre, nos valeurs permettent de déduire une concentration comprise entre 12,5 et 13,5, se montrant ainsi en bonne concordance avec les valeurs de M/I pour les deux réactions inverses qui sont à la base des calculs de Ponsaerts.

Nous avons alors soumis à l'action de l'émanation un mélange à 14 % d'ammoniaque et 86 % de mélange stéchiométrique. Or ce mélange était encore caractérisé par une vitesse assez forte dans le sens de la décomposition de l'ammoniaque, indiquant que le point d'équilibre se trouve en réalité réalisé pour une pression partielle en ammoniaque plus faible que ne le prévoit l'hypothèse de l'additivité. Ceci d'ailleurs n'a rien de bien surprenant. En effet après tous les exemples de catalyse ionique que l'on connait on ne peut vraiment concevoir que dans le mélange : ammoniaque, mélange stéchiométrique, les individualités des rendements ioniques des deux réactions inverses seraient sauvegardées.

Des mélanges à concentrations plus faibles en ammoniaque ont alors été mis en expérience. Un mélange à 5 % indiquait encore une faible vitesse dans le sens de la décomposition de l'ammoniaque ; alors qu'un mélange à 2,5 % manifestait au contraire une vitesse à peu près douze fois plus forte dans le sens de la synthèse. On en concluait que la concentration d'équilibre devait être à peu près réalisée pour un mélange à 4 % d'ammoniaque.

En effet, un mélange de cette concentration, soumis dans les mêmes conditions à l'action de l'émanation, n'a plus donné lieu à des variations de pression mesurables dans un intervalle d'observation qui s'est prolongé sur quatre jours.

Comme conclusion nous pouvons affirmer que l'hypothèse de l'additivité des vitesses des réactions radiochimiques inverses n'est pas vérifiée dans le système ammoniaque et mélange stéchiométrique d'azote et d'hydrogène.

Le point d'équilibre, déterminé expérimentalement se trouve à environ 4 %, la sensibilité des méthodes mises en œuvre, permettant d'ailleurs de fixer ce point à un pour cent près.

Le présent travail a été effectué, sous la direction du professeur W. Mund, en collaboration avec M. Jungers, au laboratoire de Chimie Physique de l'Université de Louvain.

LA SYNTHÈSE ET LA DÉCOMPOSITION RADIOCHIMIQUE DE L'ACIDE BROMHYDRIQUE

par R. GILLEROT

(Laboratoire de Chimie Physique de l'Université de Louvain.)

Le travail sur « la synthèse et la décomposition radiochimique de l'acide bromhydrique » que j'ai l'honneur de vous communiquer ce jour a été entrepris à diverses fins.

Introduire tout d'abord une donnée systématique nouvelle dans l'étude des effets physico-chimiques des particules alpha.

Elever ensuite au niveau d'idées récentes le mémoire similaire que publia Lind aux débuts de la radiochimie.

Mais enfin et surtout, confirmer la remarque que Ponsaerts (1) fit au sujet de l'ammoniaque, à savoir que « la courbe de vitesse de réaction radiochimique est telle qu'elle se trouve en contradiction avec celle que la loi d'action des masses permet de prévoir ».

Tout comme l'ammoniaque, l'acide bromhydrique était un exemple bien choisi pour une étude en ce sens car on sait, de longue date, que sa synthèse thermique fut magistralement étudiée par Bodenstein et Lind (2).

Qu'il me soit permis d'indiquer le principe de l'appareillage utilisé et de terminer par l'énoncé des résultats que cette technique a permis d'obtenir.

§ 1. — *La synthèse*

Voici comment fut réalisé, en concentrations variables, le mélange gazeux $H_2 - Br_2$.

Le brome est introduit, pesé dans une ampoule, à l'intérieur d'un grand réservoir en verre de volume connu, plongeant dans un bain thermostatique de température en moyenne constante. Après l'avoir évacué aussi complètement que possible, on casse l'ampoule de brome par un choc ; le brome se réduit intégralement en vapeur, car la quantité pesée a été évaluée en fonction du volume du réservoir et de la température du thermostat.

Il suffit alors d'introduire de l'hydrogène jusqu'à une pression totale arbitraire et connue. C'est par la variation de cette pression que l'on réglera la concentration du brome par rapport au mélange.

(1) *Bull. Soc. Ch. Belg.*, **38**, 110 (1919).
(2) *Zeit. Ph. Ch.*, **114**, 208 (1906).

Des précautions toutes spéciales ont été prises en vue d'éviter un contact permanent entre le brome et l'unique robinet du réservoir. Entre autres, on veillait à ce qu'un tampon d'hydrogène séparât, dans l'espace d'un capillaire, le robinet, de la masse du mélange.

Une fois le mélange réalisé, il s'agissait de l'admettre dans l'appareil contenant le radon extrait et purifié suivant une méthode originale au laboratoire.

Cet appareil est constitué symétriquement de deux sphères en verre surmontant chacune un tube gradué étranglé à sa base. Sous l'étranglement est encore soudé un robinet, et les deux parties symétriques convergent alors en un capillaire unique relié, d'autre part au réservoir. L'une de ces boules renferme l'émanation, l'autre sert de témoin.

Après avoir vidé la boule témoin et les canalisations intermédiaires, on laisse le mélange s'y détendre, après quoi on scelle aux étranglements prévus. De cette façon, le mélange est contenu uniquement entre parois de verre.

Après une durée d'irradiation arbitraire, on casse les deux pointes dans un même baquet de soude, préalablement portée à l'ébullition dans le vide.

La soude absorbe le brome dans la boule témoin, l'acide bromhydrique synthétisé et le brome en excès de l'autre, et, si on ramène par aspiration les deux colonnes de soude dans l'enceinte des tubes gradués, on lira une dénivellation proportionnelle à l'acide bromhydrique synthétisé, ainsi qu'au rapport des volumes des deux boules. C'est maintenant seulement que ceux-ci sont évalués par pesée.

Voici la formule qui traduit le nombre de molécules gramme d'H Br formé :

$$M_{HBr} = \frac{2\,V_1}{R\,T'} \left\{ P' \, \frac{V'_2}{V_2} - (P' + \Delta P)\, \frac{V'_1}{V'} \right\}$$

$$P' = P\,(1 - X)\,\frac{V_2}{V'_2} + \frac{T'}{T}$$

V_1 = volume sphère contenant le radon,

V_2 = volume sphère témoin,

V_1' = volume V_1 diminué du volume correspondant à la colonne de soude depuis la pointe jusqu'à l'affleurement,

V_2' = volume V_2 diminué du volume de la colonne de soude depuis la pointe jusqu'à l'affleurement,

ΔP = dénivellation exprimée en atmosphère,

P = pression du remplissage,

P' = pression d'H_2 après absorption,

$1 - X$ = concentration d'H_2 dans le mélange,

T' = température au moment de la mesure.

T = température de la chambre pendant l'irradiation.

L'équation de Mund (¹) nous donne le nombre de paires d'ions formés pendant l'expérience

$$I = N_0 \left(1 - e^{-\lambda t}\right) \times 1{,}77.10^{16} \times k.\ 1{,}69.10^{5} \times F$$

$N_0 \left(1 - e^{-\lambda t}\right)$ = nombre de curies détruits (détermination à l'électromètre Szilard).

$1{,}77 \times 10^{16}$ = nombre de part. α émises par un curie,

k = ionisation totale propre au mélange,

$1{,}69 \times 10^{5}$ = nombre de paires d'ions que chaque part. α produit dans l'air sur son parcours,

F = coefficient d'utilisation de l'ionisation.

Comme la vitesse de réaction radiochimique est reliée à l'ionisation au sein d'un gaz par l'égalité

$$-\frac{dM}{dt} = \text{const.} \times \frac{dI}{dt}$$

On en arrive à calculer pour l'acide bromhydrique, des rapports $\frac{M}{I}$ pour des concentrations croissantes de brome consignés dans le tableau suivant :

°/₀ Br_2	M/I
11.8	2.6
15.23	2.88
23.1	2.78
42.6	0.95
62	0.37

Ce qui se traduit par une courbe nettement dissymétrique, contrairement à la courbe en dôme traduisant la loi d'action des masses. Remarquons que pour la concentration 50 % Lind (²) avait déjà, en 1911, établi le chiffre 0,54 qui se place sur la courbe d'une manière très satisfaisante.

§ II. — *La décomposition*

La partie délicate du travail consistait à mettre au point une méthode de préparation d'acide bromhydrique chimiquement pur c'est-à-dire débarrassé de brome et d'hydrogène. A cet effet, il fut préparé par synthèse directe.

L'hydrogène présentant des garanties suffisantes de pureté barbottait à travers une couche de brome puis suivait un long tube à combustion lesté sur toute sa longueur d'asbeste platiné et chauffé au four électrique entre 250° et 300°. La préparation en elle-même, pour un réglage convenable de la température du four, fournit un mélange $H_2 + HBr$ ne renfermant qu'une quantité très petite de brome.

Ce brome n'est pas retenu, comme on le préconise dans les traités par

(¹) *Ann. Soc. Sc. Brux.*, **44**, 336 (1925).
(²) *Le Radium*, **8**, 289 (1911).

des tubes de naphtaline et d'antimoine, car le courant gazeux entraînerait des vapeurs de naphtaline et de l'hydrogène sulfuré provenant des traces de stibine de l'antimoine, mais bien par une série de trois tubes en U plongeant dans le mélange acide carbonique-acétone. De cette façon, une goutte d'acide bromhydrique se condense au fond de chaque tube et retient le brome entraîné. Enfin, l'excès d'acide bromhydrique était retenu à l'état solide dans une ampoule plongeant dans l'air liquide. Pour éliminer l'hydrogène, il suffisait de faire un bon vide au-dessus de l'acide bromhydrique condensé.

On laissait alors l'acide bromhydrique se vaporiser dans une série de huit sphères en verre. Six d'entre elles renfermaient le radon, les deux autres sont des boules témoins servant à estimer la pureté du gaz. Aussitôt les boules remplies, on les séparait de l'appareil par un coup de chalumeau. De cette façon l'acide bromhydrique ne se trouve au contact d'aucune substance organique. Un quart d'heure après l'introduction dans les boules irradiées, on pouvait apercevoir une coloration brune indice de la mise en liberté de brome.

Or, chacune des boules possède un tube terminal assez long et l'expérience consistera à casser la pointe provenant du scellement dans la soude bouillie dans le vide. La soude monte violemment dans les boules et refoule l'hydrogène libéré dans le tube terminal.

L'évaluation de ce volume par pesée, en regard du volume total nous indique le nombre de molécules d'acide bromhydrique décomposées.

Evidemment il faudra en défalquer le pourcentage d'impureté du gaz. Or, pour des conditions expérimentales très diverses, ce pourcentage s'est toujours révélé égal à 0,3 % environ, ce qui fait penser que ces impuretés gazeuses proviennent non pas autant de la préparation elle-même que des gaz étrangers encore dissous dans la soude.

Pour des temps d'expositions différents, voici les différents rapports $\frac{M}{I}$ obtenus.

Temps	M/I
18 H.	4.35
2 j. 19 H.	4.4
3 j. 20 H.	6.7
4 j. 19 H.	4.3
6 j. 20 H.	4.37
6 j. 23 H.	4.2

Une seule expérience est aberrante, celle dont le résultat est 6,7. Cela est dû sans doute à une bulle d'air ayant passé avec la soude au moment de l'absorption.

Mais en tous cas, cette seule valeur ne pourrait nous décider à élever la moyenne fournie par l'ensemble si concordant des autres rapports.

§ III. — *Conclusions*

1. Pour des concentrations faibles en Br_2 les rapports $\frac{M}{I}$ sont égaux en moyenne à 2,75 — mais tombent en dessous de 0,5 pour des concentrations élevées en Br_2.

2. La décomposition de l'acide bromhydrique fournit des rapports $\frac{M}{I}$ égaux en moyenne à 4,33.

Le fait que ceux-ci demeurent remarquablement constants pour des durées d'irradiation différentes, prouve, une fois de plus, le parallélisme entre l'action chimique et la loi de dégradation de l'émanation en fonction du temps.

ACTIONS CHIMIQUES DES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES

par Louis HENRY, Dr Sc.

(Communication présentée par M. A. Pinkus) (1)

Les recherches dont il est question dans cette communication ont pour objet l'étude de la synthèse des oxydes d'azote sous l'action des décharges de Geissler, des décharges sans électrodes et des décharges électroniques obscures. Elles ont été effectuées au Sloane Physics Laboratory, Yale University, New Haven (Conn.), et font partie d'un travail plus développé sur le mécanisme des réactions électrochimiques en phases gazeuses (2).

L'appareil de préparation et de purification des gaz ainsi que l'appareil de mesures sont construits entièrement en verre Pyrex. La vitesse de combinaison de l'oxygène et de l'azote est suivie par des mesures de pression, à l'aide d'une jauge de Mac Leod ou d'un manomètre élastique en verre. On peut également doser le peroxyde d'azote formé, en le solidifiant à la température de l'air liquide dans un condenseur communiquant avec le tube à décharges ou dans ce tube lui-même, en faisant ensuite le vide dans l'appareil et en mesurant la pression du peroxyde ramené à la température ordinaire. Un autre mode de dosage consiste à mesurer à la température ordinaire la pression totale du mélange gazeux contenant le peroxyde d'azote, à solidifier ensuite ce dernier dans le condenseur plongé dans l'air liquide et à déterminer la baisse de pression qui en résulte (des expériences préliminaires ont montré quelle est la correction à apporter du fait du refroidissement du condenseur lorsqu'on opère en l'absence d'oxydes d'azote).

1. — *Décharges de Geissler*

La chambre de réaction est un tube en verre Pyrex muni aux extrémités de deux électrodes formées par des disques en platine ou en nickel. Ces disques sont supportés par des tiges en tungstène scellées à travers la paroi du tube. La décharge est produite par le courant continu fourni par une batterie d'accumulateurs de 4000 volts. L'intensité du courant est réglée

(1) Le texte envoyé par M. Henry a dû être considérablement abrégé pour pouvoir figurer aux comptes rendus de ce Congrès. (A. P.)

(2) Je tiens à remercier ici la Fondation Universitaire, dont la bourse de voyage m'a permis de poursuivre ces recherches aux Etats-Unis, ainsi que M. le Professeur J. Zeleny pour la large hospitalité qu'il a bien voulu m'accorder dans ses laboratoires à l'Université de Yale.

à volonté au moyen d'une résistance variable. Un ampèremètre et un voltmètre mesurent l'intensité et la tension du courant traversant le tube à décharges et permettent de calculer l'énergie consommée.

Nous avons d'abord effectué quelques essais sous une pression de quelques mm. Hg sans refroidir le tube de Geissler. Le passage de la décharge dans l'azote ou dans l'oxygène purs ne produisait qu'une très légère augmentation de pression, due à l'échauffement ; la pression revenait à sa valeur initiale un certain temps après l'arrêt de la décharge. Il en était de même dans le cas des mélanges des deux gaz, ce qui prouve qu'en absence de réfrigération on n'arrive pas à des concentrations appréciables en oxydes d'azote. La présence de ces oxydes était pourtant décelée par une gaîne verdâtre entourant la colonne positive, analogue à celle qu'on observe en introduisant dans le tube du peroxyde d'azote pur. On constate d'ailleurs dans ce cas que le peroxyde est décomposé presque instantanément par la décharge.

Nous avons procédé ensuite à une série d'expériences dans lesquelles le tube de décharges restait à la température ordinaire, mais le tube-condenseur était plongé dans l'air liquide. Dans ces conditions, le passage de la décharge dans l'oxygène ou l'azote purs donne les mêmes résultats que précédemment, c'est-à-dire qu'on n'observe aucune contraction sensible. Par contre, avec les mélanges des deux gaz, il se produit une chute lente mais continue de la pression, et si le mélange initial est à proportions stoechiométriques, correspondant à la réaction $N_2 + 2\ O_2 \longrightarrow N_2O_4$, la pression devient finalement assez faible pour arrêter complètement le passage du courant. Ce résultat était à prévoir, car le peroxyde d'azote se solidifie peu à peu dans le condenseur et échappe ainsi à l'action destructive de la décharge.

Après ces essais préliminaires, nous avons abordé les expériences définitives, dans lesquelles tout le tube à décharges était plongé dans l'air liquide. Nous avons opéré sous une pression initiale de 1,85 mm. Hg, ce qui correspond à 6 mm. environ à 20°. L'intensité du courant a varié entre 5.10^{-5} et 4.10^{-3} ampère.

Le passage de la décharge dans l'azote pur ne produit dans ces conditions aucune variation de pression appréciable, exactement comme dans les expériences précédentes. L'observation dans l'obscurité n'a décelé aucune luminescence restante après l'arrêt de la décharge, ce qui semble prouver l'absence d'azote actif.

Les expériences avec l'oxygène pur ont mis en évidence un phénomène très curieux et assez difficile à expliquer. La décharge produit notamment une chute rapide de pression, correspondant finalement à la disparition de presque tout le gaz introduit dans le tube, mais si on arrête la décharge *sans enlever le bain d'air liquide*, on voit la pression remonter progressivement et revenir exactement à sa valeur initiale. Le phénomène peut ensuite être reproduit autant de fois que l'on veut, sans qu'on arrive à obtenir une dépression permanente, c'est-à-dire subsistant après l'arrêt de la décharge.

Il semble difficile d'attribuer ce phénomène à la formation et à la décomposition de l'ozone, qui est parfaitement stable à la température de l'air

liquide, à moins d'admettre une décomposition catalytique produite, par exemple, par des particules métalliques provenant de la pulvérisation cathodique des électrodes. On pourrait peut-être admettre également la formation de « clusters » autour des ions produits par la décharge et leur condensation à la surface des parois refroidies. Après l'arrêt de la décharge, il y aurait destruction de ces aggrégats et régénération des molécules ordinaires d'oxygène, entraînant le rétablissement de la pression initiale. Cette question sera soumise à une étude plus approfondie. D'ici là, les interprétations qui précèdent ne doivent être considérées que comme des hypothèses provisoires.

Dans le cas du mélange stœchiométrique $1\,N_2+2\,O_2$ la décharge produit une chute brusque de pression, d'autant plus rapide que l'intensité du courant est plus grande. La diminution de pression devient de plus en plus lente avec le temps, mais se poursuit jusqu'à disparition presque complète des deux gaz, conformément à la réaction :

$$1\ N_2 + 2\ O_2 \longrightarrow N_2\ O_4 \text{ solide.}$$

Il est important de remarquer que la durée de réaction totale varie en raison inverse de l'intensité du courant : on obtient rigoureusement une droite en portant en abscisses les durées de réaction totale et en ordonnées l'inverse des intensités du courant. On calcule d'après ces expériences qu'il se forme environ 90 molécules NO par charge élémentaire traversant le tube de Geissler, mais que le rendement énergétique (fraction de l'énergie dépensée transformée en énergie chimique) n'est que de quelques pour-cent à peine.

Les résultats ont été moins nets et moins reproductibles avec les mélanges contenant un excès d'oxygène ou d'azote (par rapport aux proportions stoechiométriques $1\ N_2+2\ O_2$). Ainsi, avec un mélange équimoléculaire, la courbe $i^{-1}=f\ (t)$, où i est l'intensité du courant et t la durée de la réaction totale, n'est rectiligne que pour i inférieur à 10^{-4} amp. environ ; pour des intensités plus fortes, la courbe s'infléchit vers l'axe des abscisses, c'est-à-dire que la durée de réaction totale croît plus vite que l'inverse de l'intensité du courant. D'autre part, si l'on opère en présence d'un excès d'oxygène ($1\ N_2+4\ O_2$), on retrouve le phénomène de la dépression transitoire, disparaissant après l'arrêt de la décharge, comme dans le cas de l'oxygène pur. Mais la pression ne revient pas à sa valeur initiale : il subsiste une dépression permanente due au peroxyde d'azote condensé.

Il nous a paru intéressant de voir dans quelle partie du tube de Geissler la réaction est la plus rapide. Nous avons effectué dans ce but deux expériences avec le mélange stoechiométrique $1\ N_2+2\ O_2$, en ne plongeant dans l'air liquide que la partie inférieure du tube à décharges et en utilisant l'électrode refroidie tantôt comme anode, tantôt comme cathode. Ces expériences ont montré que la vitesse de combinaison des deux gaz, mesurée par la dépression, est beaucoup plus grande lorsqu'on refroidit la région anodique, plus riche en ions et en molécules ou atomes excités que la région cathodique.

Remarquons que tous les résultats précédents ont été obtenus indifféremment avec des électrodes en platine ou en nickel. La nature des électrodes ne semble donc pas influencer l'allure des phénomènes observés.

2. — *Décharges sans électrodes*

Le tube-laboratoire est analogue au précédent, mais la décharge entre les électrodes intérieures est remplacée par un champ oscillant très intense. La paroi extérieure du tube est munie dans ce but de deux bagues en cuivre, placées à une distance de 7 cm. l'une de l'autre et pouvant glisser le long du tube. L'équipement électrique comprend un tranformateur de 110/20.000 volts, 250 watts, dont les bornes secondaires sont reliées aux armatures d'un condensateur. Celui-ci se décharge à travers le primaire d'un transformateur de Tesla, par étincelles jaillissant entre une pointe fixe et les dents d'un disque tournant. Chaque étincelle ne dure qu'un instant, et la fréquence des interruptions du courant peut être réglée en modifiant la vitesse de rotation du disque denté. Le secondaire du Tesla est relié aux deux bagues qui limitent la zone de la décharge oscillante. Les deux électrodes intérieures, placées aux deux extrémités du tube, comme dans les expériences précédentes, permettent de superposer à la décharge sans électrodes un champ électrostatique longitudinal.

Lorsqu'on opère à la température ordinaire, on observe une faible chute de pression aussi bien dans l'oxygène ou l'azote purs que dans leurs mélanges. On sait que ce phénomène, dû probablement à l'action adsorbante des parois, est caractéristique des décharges sous faible pression (*clean up*). Cette dépression subsiste après l'arrêt de la décharge et ne peut être supprimée que partiellement par chauffage.

Lorsque la zone comprise entre les deux bagues de cuivre est plongée dans l'air liquide, on obtient à peu près les mêmes résultats que précédemment si l'on opère avec de l'azote pur, mais les phénomènes deviennent différents dans l'oxygène ou les mélanges d'oxygène et d'azote.

Dans l'oxygène, on observe une *forte* chute de pression qui subsiste après l'arrêt de la décharge et le réchauffement du tube à la température ordinaire. La pression ne revient à sa valeur primitive qu'après un chauffage prolongé à haute température, ce qui prouve que la dépression n'est pas due à la formation de l'ozone, mais à un phénomène d'occlusion ou d'adsorption favorisé par le refroidissement des parois.

Dans le cas du mélange stoechiométrique 1 N_2+2 O_2, on obtient à peu près les mêmes résultats qu'avec l'oxygène pur ; la faible dépression produite par la combinaison des deux gaz est masquée presque complètement par la dépression beaucoup plus forte résultant de *clean up*. En effet, il faut de nouveau chauffer très énergiquement le tube laboratoire pour rétablir la pression initiale, et la quantité de peroxyde formé est incomparablement plus faible que celle qu'on pourrait déduire de la chute de pression constatée. Ces résultats montrent que la décharge sans électrodes est un mauvais moyen de synthèse des oxydes d'azote, probablement parce qu'elle agit également comme agent destructeur de ces oxydes.

Remarquons que la superposition d'un champ électrostatique longitudinal n'améliore pas sensiblement le rendement chimique. Toutefois, lorsque ce champ est suffisamment intense, la décharge prend l'aspect d'un fuseau lumineux occupant la partie axiale du tube, et il se produit alors une chute beaucoup plus rapide de la pression et une augmentation de la quantité de peroxyde d'azote formé.

3. — *Décharge électronique obscure*

Nous avons utilisé un dispositif analogue à celui qu'on emploie dans les déterminations des potentiels critiques, mais comprenant seulement un filament et une plaque, sans grille. L'appareil consiste en un tube en verre Pyrex que l'on peut plonger entièrement dans l'air liquide. Le filament émetteur est un ruban en platine de 4 cm. de longueur, 1 mm. de largeur et 0,02 mm. d'épaisseur, recouvert d'une couche mince d'oxydes de baryum et de strontium. Le ruban est chauffé par un courant continu d'intensité réglable. Il est entouré d'une enveloppe cylindrique en nickel, de 2 cm. de diamètre, en contact immédiat avec la paroi refroidie. Ce cylindre joue le rôle de plaque, et on peut établir entre cette plaque et le filament une différence de potentiel variable, de façon à soumettre le gaz étudié à l'action d'électrons plus ou moins accélérés.

Les expériences ont été conduites sous une pression de quelques dixièmes de mm. Hg. On suit d'abord pendant 25 minutes environ la chute de pression produite par le chauffage du filament en l'absence du champ accélérateur (*clean up*). On établit ensuite un champ de quelques volts par cm. et on observe de nouveau pendant un certain temps la baisse de pression. On continue en augmentant progressivement le champ accélérateur et on construit la courbe représentant la variation de la pression en fonction du temps. Cette courbe est formée de plusieurs tronçons correspondant à l'action d'électrons de plus en plus accélérés. Or, les expériences effectuées avec des mélanges d'oxygène et d'azote ont donné des courbes parfaitement rectilignes jusqu'à 40 volts par cm. ; en d'autres termes, la chute de pression en un temps donné, très faible d'ailleurs, est restée la même quelle que soit l'intensité du champ accélérateur. Au delà de 40 volts, on obtient une décharge par arc entre le filament et la plaque, et on observe alors une augmentation très nette de la dépression. Ces résultats prouvent que dans les conditions de nos expériences la décharge électronique obscure ne produit aucune combinaison sensible de l'oxygène et de l'azote, contrairement aux décharges lumineuses.

4e Section : Astronomie

Président : M. P. Stroobant.

Vice-Présidents : MM. M. Alliaume, M. Dehalu, F. de Roy, E. Merlin.

Secrétaire : M. H.-L. Vanderlinden.

Secrétaire-adjoint : M. J. Cox.

Séance du lundi 30 juin, à 10 heures.

Présidence : M. P. Stroobant, Président.

Communications :

M. P. Stroobant : *Histoire de l'Astronomie en Belgique de 1830 à 1930.*

M. H.-L. Vanderlinden : *L'Amas Messier 67.*

M. E. Delporte : *Technique de la prise des clichés pour l'observation des astéroïdes.*

MM. P. Bourgeois et J. Cox : *Sur la détermination des magnitudes des petites planètes.*

M. S. Arend : *Sur la détermination de positions photographiques précises d'astéroïdes, basée sur le principe de l'homographie.*

Séance du lundi 30 juin, à 14 h. 30.

Présidence : M. P. Stroobant, Président.

Communications :

M. J. Delvosal : *Le catalogue et la carte photographiques du ciel.*

MM. P. Swings et A. Legros : *Sur les formules de réduction photométrique des diamètres d'images stellaires et leur relation avec le type spectral.*

MM. J. Cox et A. Dermul : *Sur la comparabilité des mesures effectuées par les observateurs d'étoiles variables qui utilisent la méthode d'Argelander ou l'une des méthodes dérivées.*

M. P. Bourgeois : *La standardisation des plaques photographiques en photométrie spectrale.*

M. E. Merlin : *Sur les nébuleuses spirales.*

Séance du mardi 1er juillet à 9 h. 30.

Présidence : M. E. Merlin, Vice-président.

Communications :

M. E. Merlin : *Sur l'équation de Képler.*

M. M. Alliaume : *Le choix des constantes géométriques des orbites planétaires et le calcul des éphémérides.*

M. G. Becq : *Sur la détermination des orbites par la méthode de Laplace.*

M. J. Warzée : *Sur la détermination des densités dans les amas globulaires.*

Mardi 1er juillet, à 11 heures.
(Séance commune avec la section de géodésie.)

Présidence : M. E. Merlin, Vice-président.

Communications :

M. E. Merlin : *Sur le calcul de la longitude et de la latitude d'un lieu déduites de deux observations de hauteurs.*

M. F. Moreau : *Sur la réduction des observations méridiennes en ascension droite.*

Séance du mardi 1er juillet à 14 heures.

Présidence : M. P. Stroobant, Président.

Communications :

M. F. Moreau : *Sur la flexion latérale des lunettes méridiennes.* Le manuscrit de ce travail ne nous est pas parvenu.

M. L. De Clerck : *Discordance entre les distances zénithales d'une étoile observée directement et par réflexion* (R-D).

M. J. Verbaandert : *L'enregistrement des signaux horaires à l'Observatoire Royal d'Uccle.*

M. R.-H.-J. Germay : *Essais sur la formule de Lagrange et l'équation de Gauss.*

M. L. Cap : *Sur l'observation systématique de la lumière zodiacale et la recherche des isophotes déduits des observations visuelles.*

M. F. De Roy : *Sur l'éclat de Sirius.*

Remarque — Toutes les communications ont fait l'objet d'échanges de vue intéressants entre les divers membres présents.

HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE EN BELGIQUE DE 1830 À 1930

par Paul STROOBANT,

Directeur de l'Observatoire, Professeur à l'Université de Bruxelles

---

L'activité scientifique, qui s'était manifestée en Belgique à l'époque de la Renaissance, déclina rapidement ; la seconde moitié du XVII[e] siècle et le XVIII[e] siècle tout entier furent absolument nuls sous le rapport des travaux astronomiques dans notre pays. Le célèbre astronome Lalande pouvait dire, après avoir traversé la Belgique : « Dans les Pays-Bas autrichiens, actuellement français, l'astronomie ne paraît pas avoir été cultivée. Le seul observateur de ce pays est un gentilhomme anglais M. Pigott. » Celui-ci avait effectué, dans différentes villes de la Belgique, des observations des éclipses des satellites de Jupiter et des mesures de hauteurs méridiennes d'étoiles, dans le but de coopérer à la construction d'une carte générale du pays. Il observa aussi le passage de Mercure sur le Soleil à Louvain, en 1786. L'abbé Chevalier, de nationalité portugaise, effectua un certain nombre d'observations astronomiques à Bruxelles et l'abbé Mann, né en 1735 en Angleterre, et qui s'était fixé en Belgique, publia un certain nombre de travaux se rattachant surtout à la physique du globe.

On n'a pas publié dans notre pays de grands traités sur l'astronomie, on peut néanmoins citer quelques cours et divers ouvrages élémentaires. Quetelet, dont le nom domine toute la première partie du développement des sciences d'observation, a publié une *Astronomie élémentaire* en deux volumes (1834) et des *Eléments d'astronomie* (Paris, 1847 et Bruxelles, 1848), citons aussi *Le Ciel* par Houzeau (1873), ouvrage remarquable par sa clarté et sa forme littéraire et les cours ou traités de le Paige et Dehalu, Stroobant, Alliaume, etc. et la traduction française du tome premier de la *Détermination des orbites d'Oppolzer* par Pasquier.

Le *Répertoire des constantes de l'astronomie*, publié par Houzeau dans les *Annales de l'Observatoire* fut considérablement étendu par son auteur sous la forme du *Vade-Mecum de l'Astronome* (1882). Enfin Houzeau fit paraître avec A. Lancaster la *Bibliographie générale de l'Astronomie*. Ce catalogue méthodique des ouvrages publiés depuis l'invention de l'imprimerie jusqu'en 1880 a été divisé de la manière suivante : Tome I : ouvrages imprimés et manuscrits (1887) ; tome II : mémoires et notices insérés dans les collections académiques et les revues (1882) et enfin tome III : les observations et les observatoires. Malheureusement ce grand ouvrage est resté inachevé, le dernier volume n'ayant jamais vu le jour.

L'histoire et le développement de l'astronomie ont fait l'objet d'un certain nombre de notices de Mailly et de Houzeau, publiées dans l'*Annuaire de l'Observatoire*; de L. Delgeur, du P. Lucas, et de l'abbé Rome, relatives à l'astronomie ancienne, dans les publications de la Société scientifique de Bruxelles; de Folie sur l'histoire de l'astronomie en Belgique, dans le *Bulletin de l'Académie* et de Gilbert sur diverses questions relatives au système de Copernic, dans la *Revue des questions scientifiques*. C. le Paige a prononcé, à l'ouverture des cours à l'Université de Liége, trois discours : sur l'astronomie des Grecs, sur l'astronomie au temps de Képler et sur l'astronomie moderne. Signalons aussi un mémoire de Mailly intitulé « Tableau de l'astronomie dans l'hémisphère sud et dans l'Inde » et une lecture de Stroobant à la classe des Sciences de l'Académie sur l'astronomie aux Etats-Unis. Le même auteur a publié, dans l'*Annuaire de l'Observatoire* une série de notices sur les « Progrès récents de l'astronomie » et Alliaume a donné également des revues annuelles relatives au développement de cette science.

A. Lancaster a fait paraître, en 1887, un ouvrage fort utile aux astronomes et qui a été réédité en 1890, c'est la *Liste générale des Observatoires et des Astronomes, des Sociétés et des Revues astronomiques*. Un travail analogue, mais plus étendu, a été publié en 1907 par l'Observatoire royal et rédigé par P. Stroobant, J. Delvosal, H. Philippot, E. Delporte et E. Merlin. Une nouvelle édition de cet ouvrage va bientôt paraître sous les auspices de l'Union astronomique internationale.

Parmi les ouvrages généraux, on peut ranger aussi l'*Almanach séculaire* de Quetelet (1854) dont une partie importante est consacrée à l'astronomie et aux sciences connexes.

On trouve un grand nombre d'articles et de notices astronomiques dispersés dans l'*Annuaire de l'Observatoire royal*, dans la *Revue des Questions scientifiques*, dans *Ciel et Terre*, dans le *Bulletin de la Société belge d'astronomie* et dans la *Gazette astronomique*. Les citer tous sortirait du cadre de cette lecture.

Les observations astronomiques ont pour but, soit la détermination de la position des astres sur la sphère, soit l'étude des corps célestes considérés en eux-mêmes.

Presque toutes les observations de la première catégorie ont été effectuées à l'Observatoire royal, à l'aide de la lunette méridienne et du cercle mural et plus tard au moyen du cercle méridien.

Ces observations ont servi de base notamment au catalogue entrepris par Ernest Quetelet, dans le but de déterminer la position des étoiles dans lesquelles on a reconnu ou soupçonné un mouvement propre notable, avec la collaboration de Mailly, Hooreman, Estourgies et Goemans. Les observations faites au cercle méridien, principalement par Philippot, Delporte et Jamar, ont permis d'établir un catalogue d'étoiles de repères de la zone +21° et +22° pour la carte photographique du ciel ; M. Delvosal, de son côté, a déterminé l'ascension droite de nombreuses étoiles de repère, à la lunette méridienne de Gambey. On a effectué, au cercle méridien, des

observations d'étoiles de repère de la comète Delavan et un catalogue de 419 étoiles de comparaison pour la prochaine opposition de la planète Eros ; ce dernier travail a été effectué sous la direction de M. Moreau, avec la collaboration de MM. Becq, De Clerck et Verbaandert. Actuellement, le programme des observations comprend notamment la détermination de la position des astres du système solaire.

L. de Ball a également publié un catalogue d'étoiles faibles observées de 1886 à 1889 à l'Institut astronomique de l'Université de Liége (1896).

Les corrections à apporter aux observations méridiennes et ayant pour cause les erreurs dues à l'instrument ou à l'observateur lui-même, ont été étudiées par Mailly, Liagre, A. et E. Quetelet, Houzeau, Stroobant, Goedseels, le Paige, Dehalu, Hermans, Philippot et Moreau.

Lorsqu'un astre n'est pas observable au méridien on peut déterminer sa position relative à des étoiles voisines, à l'aide de l'équatorial. Les observations de position effectuées à l'Observatoire, sont relatives à de nombreuses comètes et furent faites par Quetelet, Niesten, Stuyvaert, Van Biesbroeck, H. Vanderlinden et E. Delporte. Des mesures d'étoiles doubles sont dues à Niesten, Merlin et surtout à Van Biesbroeck.

En 1908, l'Observatoire royal a apporté sa collaboration à l'exécution de la carte photographique du ciel ; elle est relative à la zone $+35°$ à $+39°$. Actuellement près de 400 feuilles héliogravées de cette carte ont paru sous la direction de J. Delvosal, avec la collaboration de L. Casteels et J. Warzée.

La chambre photographique Zeiss de 30 cm. d'ouverture, installée à l'Observatoire au début de 1924, a été utilisée spécialement pour la recherche et la détermination des positions des petites planètes situées entre Mars et Jupiter. Actuellement plus de 800 clichés ont été obtenus, qui ont conduit à la découverte d'un certain nombre d'astéroïdes nouveaux et à de multiples observations de position, qui sont dues principalement à E. Delporte, chef de ce service et aussi à P. Bourgeois et S. Arend.

Depuis 1830, la plupart des éclipses de Soleil et de Lune qui ont été visibles dans notre pays, ont fait l'objet de nombreuses observations. Il serait fastidieux d'en donner ici la nomenclature et je me contenterai de signaler les noms des astronomes professionnels ou amateurs dont les observations ont été publiées : A. Quetelet, Mailly, E. Quetelet, Estourgies, Duprez (à Gand); Montigny (à Anvers); De Traz (à Thourout), de Boë (à Anvers); Terby (à Louvain); Dupont, Niesten, Stuyvaert, Spée, Bijl, Stroobant, Prinz, Lecointe, Delvosal, Philippot, Delporte, Moreau, H. Vanderlinden, Cox, De Clerck, Becq, à Bruxelles ou à Uccle, Vandevyver et Merlin à Gand et Hermans à Liége, Quignon à Mons, etc. Certains de ces astronomes ont, en outre, observé d'assez nombreuses occultations d'étoiles par la Lune.

L'éclipse de 1912 dont la ligne de centralité traversait la Belgique, fut observée dans le sud du Hainaut et dans la province de Namur par des missions organisées par l'Observatoire, par la Société belge d'Astronomie et la Société d'astronomie d'Anvers et à Gand par Vandevijver.

Au sujet des éclipses, signalons une notice de Niesten sur l'éclipse totale du 19 août 1887 qu'il observa à Jurjewetz, en Russie.

Plusieurs passages de Mercure sur le Soleil furent observés à Bruxelles par Quetelet, ceux de 1907, 1924 et 1927 à Uccle et à Mons, par Quignon, le dernier passage a également été suivi à l'Institut d'Astronomie de l'Université de Bruxelles.

En se basant sur les heures notées pour l'entrée et la sortie de la planète par 97 observateurs, en 1907, Stroobant a calculé la correction de la position de Mercure et de la valeur du diamètre de cette planète.

La Belgique envoya deux missions pour observer le passage de Vénus sur le Soleil, en 1882, l'une au Texas et l'autre au Chili ; on fit usage de l'héliomètre à foyers inégaux, imaginé par Houzeau. La parallaxe obtenue pour le Soleil est de 0″,11 plus grande que celle adoptée actuellement par les astronomes.

Ch. Lagrange a préconisé une méthode qui pourrait, à l'aide d'un équatorial dont le mouvement serait parfaitement réglé, donner la valeur de la parallaxe solaire par des observations continues.

Les taches solaires ont été observées à Uccle de 1904 à 1908 par Spée, Merlin et Delvosal, et les résultats sont donnés sous forme de statistique donnant l'importance des taches et leur latitude héliographique ; elles ont également été suivies à Mons, par Quignon.

La photographie de l'atmosphère solaire, qui entoure la couche de lumière éclatante où se produisent les taches, a fait l'objet des recherches de de Heen et de le Paige.

Fievez a publié des études sur le spectre solaire et en particulier sur la région A-C et un travail sur le spectre du magnésium et la constitution du Soleil. Spée a publié un ouvrage sur la région *b-f* du spectre solaire, avec atlas.

L'aspect de notre satellite a fait l'objet de recherches dues à E. Stuyvaert, Prinz, Niesten et J. Vincent.

La planète Vénus a donné lieu a un assez grand nombre d'observations intéressantes ; nous citerons celles effectuées par Van Ertborn en 1876, celles de Terby en 1879, de de Ball en 1884 et 1885 et enfin celles de Niesten et Stuyvaert embrassant la période comprise entre 1881 et 1895. Stroobant a démontré la non-existence d'un prétendu satellite que certains observateurs du XVIIe et du XVIIIe siècle avaient cru voir près de la planète Vénus.

Terby a publié une Aréographie, comprenant les observations inédites de Mars par Schroeter et une étude comparative des observations de l'aspect de cette planète depuis Fontana (1636) jusqu'en 1873. Le même auteur a publié, en outre, de nombreuses notices renfermant ses propres observations. Des observations de la surface de Mars ont été effectuées en 1877, par van Ertborn et par Niesten durant les oppositions de 1884 à 1894, ce dernier travail est accompagné d'une carte de la planète. Stuyvaert a effectué une longue série d'observations s'étendant de 1882 à 1896, Van Bies-

broeck a publié les observations qu'il a faites pendant l'opposition de 1903 et Quignon celles qu'il a effectuées une vingtaine d'années plus tard.

Parmi les observateurs de la planète Jupiter, il convient de citer encore en première ligne, Terby, dont les observations s'étendent sur plus d'un quart de siècle, les travaux de Niesten et Stuyvaert et plus récemment, les observations de Quignon, Dehalu et Swings.

Les phénomènes présentés par les gros satellites de Jupiter lorsqu'ils passent devant la planète ou qu'ils pénètrent dans le cône d'ombre qu'elle projette à l'opposé du Soleil, ont été observés fréquemment par Quetelet, Niesten, Stuyvaert, Terby, Van Biesbroeck et Casteels.

En 1876, Van Monckhoven, à Gand, observa un phénomène assez rare, une tache brillante et nette sur le disque de Saturne. Des observations de l'aspect de cette planète et de ses anneaux ont été effectuées par Terby, par Stuyvaert et par Stroobant en 1887, 1890 et 1912. Les phénomènes accompagnant la disparition des anneaux ont été suivis par Terby en 1907 et par Stroobant en 1921.

En ce qui concerne Uranus, nous n'avons guère à signaler qu'une notice de Houzeau sur les limites que l'on peut assigner à sa durée de rotation.

Les comètes périodiques de Encke et de Halley, ainsi que la belle comète de Donati ont été observées par Quetelet, celle de 1874 par E. Quetelet, Bernaerts et Terby, ce dernier a suivi également la grande comète de 1882 et celle de Pons-Brooks en 1884, enfin signalons que la lumière de la comète 1881 *b* a été analysée par Fievez. Plus près de nous, des observations de l'aspect physique de comètes ont été effectuées par Niesten, Stroobant, Casteels, H. Vanderlinden, Quignon et surtout par Van Biesbroeck.

Des observations d'étoiles filantes ont été faites régulièrement depuis 1833 et furent étendues dans la suite comme on peut le constater par le grand nombre de notices insérées dans les bulletins de l'Académie et dans les annuaires de l'Observatoire. Ces météores ont fait aussi l'objet des observations de Duprez à Gand et de Terby à Louvain.

Les étoiles filantes périodiques d'août et de novembre ont été surtout étudiées par Quetelet qui dressa deux catalogues des principales apparitions d'étoiles filantes, un certain nombre de savants éminents de l'étranger lui envoyèrent leurs observations et leurs travaux qui figurent dans les publications de l'Académie et de l'Observatoire.

Les étoiles filantes, surtout les Perséides, furent encore observées dans notre pays par E. Quetelet, Niesten, Stuyvaert, Bijl, Stroobant, Fievez fils, Van Biesbroeck, Philippot, Delporte, de Roy, Quignon, etc. Mentionnons enfin une notice sur la distribution des radiants d'étoiles filantes relativement à l'écliptique par Dehalu (1903). Quelques travaux sur les bolides et les aérolithes ont également été publiés.

La lumière zodiacale a été étudiée surtout par Houzeau et, à ce sujet, il y a lieu de signaler son *Résumé de quelques observations astronomiques et météorologiques faites dans la zone subtempérée et entre les tropiques.*

On a remarqué souvent que le Soleil et la Lune paraissent plus grands à l'horizon qu'à une certaine hauteur dans le ciel ; il en est de même de la distance angulaire qui sépare les étoiles. Les causes de cette illusion ont été étudiées par P. Stroobant en 1884, 1885 et de nouveau en 1928. Cette apparence a une cause physiologique à laquelle vient s'ajouter une influence d'ordre psychologique dont la nature n'est pas encore bien définie.

H. Vanderlinden s'est attaché à l'étude de la variation de l'absorption des rayons lumineux avec la hauteur des astres au-dessus de l'horizon.

Dans le domaine de l'astronomie physique nous devons mentionner les travaux de Fievez sur la spectroscopie et des notes, une de Dauge sur la rotation du Soleil, une de Bernaerts sur la nature de cet astre et une troisième sur le calcul des coordonnées héliographiques par Merlin. Le P. Carbonnelle a publié un mémoire très complet sur le calcul de la chaleur diurne envoyée en un point quelconque de la surface terrestre.

Le phénomène de la scintillation des étoiles a été étudié d'une manière approfondie par Montigny à l'aide d'un instrument qu'il avait imaginé et nommé scintillomètre.

L'étude des satellites a été abordée dans des notices publiées par Quetelet, par Stroobant et par Warzée ; la détermination de l'ellipticité d'une planète au moyen de mesures micrométriques a fait l'objet d'un travail de Merlin.

En ce qui concerne les petites planètes Niesten a écrit une notice sur les plans de leurs orbites rapportés à l'équateur solaire, Stroobant a publié deux mémoires sur la constitution de l'anneau des astéroïdes, enfin Bourgeois et Cox ont donné une représentation graphique des éléments géométriques des orbites de ces corps célestes.

Le mouvement du Soleil dans l'espace a fait l'objet des recherches de Liagre, Ubaghs et Stroobant.

L'uranométrie générale a été dressée par Houzeau par des observations directes de toutes les étoiles visibles à l'œil nu et de la voie lactée et il en a déduit la position du pôle de la galaxie sur la sphère céleste. Stroobant a étudié la distribution des étoiles en se basant sur la carte et le catalogue photographique du ciel. D'autre part, il a étudié le mouvement des étoiles à hélium et a recherché les étoiles ayant un déplacement égal et parallèle à celui du Soleil ; les résultats obtenus ont été étendus avec la collaboration de Bourgeois, qui a publié un mémoire sur le mouvement d'étoiles voisines du Soleil.

Des observations d'étoiles variables et d'étoiles nouvelles ont été effectuées par E. Quetelet en 1866, par P. Stroobant en 1885, 1886, 1918 et 1920. par Van Biesbroeck et Casteels de 1907 à 1912, par Philippot, Casteels, H. Vanderlinden en 1918, par Quignon de 1906 à 1920 et plus récemment par de Roy, Dermul, Cap, Cox et Rigaux.

Divers autres travaux d'astronomie stellaire ont encore été publiés notamment par Quetelet sur les mouvements propres des étoiles, par Alliaume sur la recherche systématique des courants d'étoiles et par Vanderlinden sur les longueurs d'onde effectives des étoiles de l'amas de Praesepe.

Dans le domaine de l'astronomie mathématique les travaux de Ch. Lagrange sur l'attraction universelle ont un caractère tout à fait général ; Graindorge a fait paraître divers mémoires se rapportant à la mécanique céleste et Alliaume a publié une note sur le calcul des perturbations planétaires par la méthode de Lagrange. Stroobant a donné l'expression du potentiel de l'anneau de Saturne dans l'hypothèse où il est formé par un solide de révolution de forme quelconque autour de l'axe de la planète et plus tard il a calculé l'aplatissement du globe de Saturne par les inégalités du mouvement de certains satellites et ses calculs l'ont conduit à une masse négligeable pour l'anneau.

Folie a étudié la théorie des mouvements diurne, annuel et séculaire de l'axe du monde ; il considère le mouvement de l'écorce terrestre comme indépendant de celui du globe entier, elle pourrait avoir un mouvement propre pour les courtes périodes et participerait au mouvement du sphéroïde entier pour les longues périodes (nutation annuelle et précession). L'écorce terrestre aurait donc une nutation diurne et plutôt semi-diurne qui pourrait être sensible, mais la confrontation des observations et de la théorie n'a pas donné de résultat satisfaisant.

Parmi les travaux se rattachant au sphéroïde terrestre on peut citer ceux de H. Janne sur la variation de la latitude et ceux de Pasquier sur les variations journalières de la verticale.

La question de l'aberration des étoiles et de l'aberration planétaire ainsi que celle des réductions stellaires en général, a été étudiée par Liagre, Houzeau, Folie, le Paige et Alliaume. Citons aussi un mémoire de Ubaghs sur les formules de la nutation annuelle, enfin Alliaume a apporté quelques contributions à la théorie des réfractions astronomiques.

Parmi les questions qui se rattachent à la fois à l'astronomie et à la mécanique, il convient de rappeler un travail de Lamarle, *La rotation de la Terre constatée par expérience* ; deux notes de Folie, l'une sur le calcul de la densité moyenne de la Terre et l'autre sur le commencement et la fin du monde d'après la théorie mécanique de la chaleur et divers travaux de Merlin relatif à l'hydrodynamique et l'astronomie : sur la rotation d'une masse fluide, sur le mouvement d'un fluide parfait hétérogène en rotation présentant des stries en forme de spirales et les nébuleuses. Sur les marées : observations de Quetelet, de de Mailly et Van Rysselberghe : Sur les marées extraordinaires de janvier 1877.

La détermination des orbites et le mouvement des corps du système solaire a fait l'objet des travaux suivants : Ad. Quetelet, Constructions graphiques d'orbites planétaires ; Dandelin, Sur la détermination géométrique d'orbites cométaires ; Meyer, Expression du rayon vecteur d'une planète en série, suivant les cosinus des multiples de l'anomalie moyenne ; Houzeau, Détermination du rayon vecteur d'une planète nouvelle ; Pasquier, Sur les solutions multiples du problème des comètes ; J. Bellefroid, Essai d'adaptation de la méthode de Gauss au calcul d'une première orbite d'un astre. (Les formules sont arrangées pour le calcul à l'arithomètre, l'auteur donne une application à la recherche de l'orbite de la comète 1900 *a* ; il

s'est inspiré des idées de T. Banachiewiez) ; R.-H.-J. Germay, Sur le problème des orbites et Sur une extension de la formule de Lagrange et son application à l'équation de Gauss ; G. Becq, Détermination des orbites képlériennes ; J. Cox, Procédé d'identification rapide des petites planètes et diverses notes concernant le problème de la détermination des orbites ; nombre de solutions dans le cas des orbites elliptiques, utilisation des traînées photographiques pour le calcul des orbites des astéroïdes, théorème de Lambert sur la courbure de l'orbite apparente.

Quetelet, Houzeau, Mailly, Bouvy, Liagre, de Ball, Moreau, Van Biesbroeck, Vanderlinden, Delporte ont calculé des orbites de comètes et de planètes.

Mansion et Pasquier ont publié des notes sur le théorème de Möbius relatif au mouvement elliptique et Goedseels sur certaines théories d'astronomie mathématique.

Divers travaux sont relatifs à la détermination de l'heure, de la latitude, de la longitude, de l'azimut, etc., ils ont été publiés par Liagre, Houzeau, Adan et Merlin. Dans le même ordre d'idées, signalons une étude des chronomètres par G. Lecointe, dans les rapports scientifiques de l'expédition antarctique belge et enfin la réception des signaux radiotélégraphiques par H. Philippot et F. Moreau.

Depuis une douzaine d'années, une théorie nouvelle, celle de la relativité, a pris naissance et a donné lieu à un certain nombre de travaux, dus à nos compatriotes, et qui sont en rapport avec l'astronomie. Nous citerons en premier lieu : la Gravifique einsteinienne par Th. De Donder ; théorie nouvelle de la gravifique par De Donder et H. Vanderlinden et encore de ce dernier : les équations du champ de gravitation d'Einstein et la trajectoire d'un rayon lumineux dans le champ de gravitation.

De Jans : La trajectoire d'un rayon lumineux dans un champ de gravitation à symétrie sphérique ; sur le mouvement d'une particule matérielle dans un champ de gravitation à symétrie sphérique ; et sur la stabilité du mouvement d'une particule massique dans le champ de Schwarzschild.

P. Swings a publié : Les potentiels riemaniens et les formes quadratiques einsteiniennes dans le problème des deux corps; les orbites quasi-elliptiques, les potentiels riemaniens et les forces centrales ; quelques analogies formelles entre certaines orbites ; attraction d'un corps formé de couches sphériques concentriques homogènes en un point extérieur, dans le cas d'un potentiel riemanien. Le même auteur a fait paraître, en collaboration avec F. Bureau une note sur l'intégration de l'équation des orbites quasi-képlériennes par la méthode des approximations successives.

Dehalu a étudié également ces questions d'ordre général dans les notes suivantes : Sur une loi de gravitation analogue à celle d'Einstein et le mouvement du périhélie de Mercure déduit de certaines lois de gravitation et en collaboration avec Swings : sur les potentiels contenant les composantes des vitesses.

G. Lemaître a publié une étude fort intéressante intitulée : Un univers

homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte des vitesses radiales des nébuleuses extra-galactiques. L'éloignement de ces nébuleuses est un effet cosmique dû à l'expansion de l'espace, l'effet Doppler apparent résulte de la variation du rayon de l'Univers, cette expansion aurait été produite par la radiation elle-même.

Le comité national d'astronomie, en relation avec l'Union astronomique internationale, fut créé en 1920. Des questions d'intérêt scientifique général y furent discutées principalement en vue des Assemblées de l'Union astronomique. A ce propos signalons que M. Delporte a attaché son nom à la revision des limites des constellations ; son projet fut adopté à l'assemblée générale de l'Union internationale, à Leyde en 1928.

Je n'ai pu entrer dans aucun détail relativement aux résultats des nombreuses recherches dont j'ai donné la longue énumération, cependant le développement de l'astronomie dans notre pays est rendu manifeste par le nombre et la variété des travaux publiés depuis un siècle.

Nous avons rappelé au début de cette lecture l'appréciation de Lalande au commencement du XIX[e] siècle et l'on peut juger du chemin parcouru depuis cette époque.

Les nouveaux crédits que le Gouvernement a accordés à l'Observatoire pour moderniser son outillage scientifique permettront de développer son activité dans de vastes proportions ; aussi pouvons-nous bien augurer de l'avenir de l'astronomie dans notre pays.

L'AMAS MESSIER 67

par H.-L. VANDERLINDEN

---

1. L'amas Messier 67 = N. G. C. 2682 = Melotte 94, est un des représentants types des amas ouverts, réguliers et bien définis. Il a un diamètre apparent de 15′. Son centre est situé à

$$\alpha = 8 \text{ h. } 45 \text{ m. } 55 \text{ s.} ; \ \delta = +12^\circ 11',5 \ (1900,0)$$

ou aux coordonnées galactiques : $G = 183°$; $g = 33°$.

Il est composé d'étoiles faibles, dont les magnitudes photographiques sont généralement comprises entre 12 et 15. Une seule étoile est de grandeur 9,3. Les mouvements propres des étoiles de l'amas et de la région environnante, jusqu'à la distance de 57′ du centre, ont été mesurés par P.-J. Van Rhijn (1). Nous avons déterminé les longueurs d'onde effectives de 1150 étoiles de la même région de 2°,5 de diamètre.

Dans ce qui suit, nous envisagerons uniquement la partie la plus dense de l'amas, située dans un cercle de 35′ de diamètre et comprenant 291 étoiles, jusqu'à $m = 14{,}75$. Nous nous proposons d'étudier les conditions moyennes qui régissent l'amas, relativement à la distribution des mouvements propres, et des magnitudes, des couleurs et de la densité, en fonction de la distance au centre.

2. *Mouvement propre et parallaxe du groupe.* — De la discussion des mouvements propres des étoiles, dans des anneaux concentriques, Van Rhijn a déduit que le mouvement propre total du groupe est $\mu = 0'',0073$ dans l'angle de position $p = 287°$. Bien que la grandeur de ce mouvement soit faible, il doit être considéré comme réel, le nombre d'étoiles se mouvant dans la direction opposée étant très petit. La plupart des étoiles situées dans un cercle de 13′ de diamètre font partie du groupe. Remarquons que cette direction du mouvement coïncide approximativement avec celle du vertex des Hyades et de Praesepe, dont la position est, d'après Hertzsprung, $\alpha = 6$ h. 8m.; $\delta = +10°$. Par rapport au centre de M. 67, l'angle de position de ce vertex est 274°. Les deux directions accusent donc une différence de 13°. Celle-ci correspond à une déviation de l'ordre de 0″,002 dans les mouvements propres, qui pourrait être attribuée à des erreurs accidentelles. S'il en est ainsi, M. 67 a un mouvement égal à celui des Hyades et de Praesepe et nous pouvons en déduire sa parallaxe.

D'après Van Rhijn et Klein Wassink (2), le mouvement propre total

(1) *Publications of the Kapteyn Astronomical Laboratory at Groningen*, 33.
(2) *Publications Groningen*, 35.

des Hyades est 0″,102 ; la parallaxe de ce groupe est 0″,027 et sa distance angulaire au vertex apparent est 27°. La distance de M. 67 au même vertex est 41°. Il en résulte que la parallaxe de cet amas est $\pi=0'',0013$, correspondant à la distance de 770 parsecs.

3. *Longueurs d'onde effectives.* — Les données précédentes ont pu être complétées grâce aux longueurs d'onde effectives des étoiles, déduites de mesures de vingt clichés, obtenus au réflecteur de 60 pouces d'ouverture du Mont Wilson, en utilisant un réseau de fils parallèles dont la constante est de 6 millimètres.

La relation statistique entre m_{pg} et λ_e nous fournit d'abord le diagramme de Hertzsprung-Russell de l'amas. Il nous montre immédiatement qu'il se comporte d'une manière particulière relativement à ceux des autres amas ouverts. Il ne trouve pas de place directe dans aucun des types de la classification de R.-J. Trümpler et appartient probablement à un type, qui semble être un prolongement du type 2 *a*. La région considérée ne contient, en effet, que deux étoiles blanches ($\lambda_e=4200$), dont la plus brillante et la plus blanche n'appartient, de par son *m. p*, probablement pas à l'amas. Toutes les autres étoiles sont jaunes ou rouges et doivent donc être d'un type spectral avancé.

4. *Distribution des* λ_e. — Les étoiles sont classées, par intervalles successifs de 50A, en sept groupes de λ_a entre $\lambda_e=4175$ et 4525.

La table I nous renseigne alors sur les valeurs moyennes de m_{pg} et de λ_e qui caractérisent l'amas par rapport à la distance au centre. Il ne semble pas exister une relation bien définie entre ces trois éléments. Cependant il est curieux de remarquer que les étoiles les plus rouges sont parmi les plus brillantes et se trouvent groupées dans la partie centrale de l'amas.

La dernière colonne relative à l'ensemble de l'amas, indique, qu'en moyenne, la valeur de m_{pg} est plus faible dans les trois anneaux intérieurs, jusqu'à la distance de 6′5 du centre, en même temps que la valeur moyenne λ_e y est un peu plus forte. Celle-ci diminue régulièrement à partir du centre et reste approximativement constante à partir de la distance 6′5.

La table II nous éclaire davantage encore sur les faits que nous venons de signaler. De plus, elle montre que la densité diminue graduellement à partir du centre, jusqu'à la partie périphérique considérée, à la distance de 17′5.

Cependant, en tenant compte de la densité moyenne stellaire, déduite des tables de Chapman et Melotte [1] pour la magnitude limite indiquée et la latitude galactique de l'amas, la densité trouvée est encore deux fois trop forte. On en déduit que l'on peut assigner à l'amas un diamètre d'environ un degré, bien que dans les régions de plus en plus éloignées du centre, les membres du groupe deviennent de moins en moins nombreux. Les valeurs correspondantes des trois anneaux intérieurs indiquent que la

[1] *Memoirs R. A. S.*, **60**, 4 (1914).

TABLE I. — *Distances et longueurs d'onde effectives.*

Distance au centre	Quantité	Intervalles de λ_e							Ensemble des λ_e
		4175 - 4225	4225 - 4275	4275 - 4325	4325 - 4375	4375 - 4425	4425 - 4475	4475 - 4525	
0',0 - 2',5	N. d'étoiles	0	7	13	8	3	2	0	33
	$\overline{m}_{pg}$	—	13,11	13,87	13,75	12,58	11,95	—	13,44
	$\overline{\lambda}_e$	—	4261	4299	4343	4416	4472	—	4323
2',5 - 4',5	N. d'étoiles	1	4	41	7	3	2	1	59
	$\overline{m}_{pg}$	13,94	12,46	13,94	14,41	13,78	13,20	11,68	13,82
	$\overline{\lambda}_e$	4207	4258	4295	4340	4402	4432	4483	4309
4',5 - 6',5	N. d'étoiles	1	7	26	4	5	2	0	45
	$\overline{m}_{pg}$	10,39	12,57	13,92	13,63	12,92	12,62	—	13,44
	$\overline{\lambda}_e$	4176	4259	4296	4357	4413	4430	—	4312
6',5 - 8',5	N, d'étoiles	0	5	18	6	3	0	0	32
	$\overline{m}_{pg}$	—	13,18	13,93	14,26	13.94	—	—	13,73
	$\overline{\lambda}_e$	—	4261	4301	4341	4399	—	—	4302
8',5 - 10',5	N. d'étoiles	0	3	25	5	3	0	0	36
	$\overline{m}_{pg}$	—	14,11	13,94	13,82	12,73	—	—	13,83
	$\overline{\lambda}_e$	—	4264	4297	4347	4403	—	—	4309
10',5 - 12',5	N. d'étoiles	0	10	17	4	3	0	0	34
	$\overline{m}_{pg}$	—	13,47	13,89	14,24	14,01	—	—	13,82
	$\overline{\lambda}_e$	—	4261	4303	4348	4398	—	—	4304
12',5 - 14',5	N. d'étoiles	0	6	18	2	2	0	0	28
	$\overline{m}_{pg}$	—	14,04	13,92	14,58	13,04	—	—	13,93
	$\overline{\lambda}_e$	—	4263	4298	4335	4402	—	—	4300
14',5 - 17',5	N. d'étoiles	0	2	18	2	2	0	0	24
	$\overline{m}_{pg}$	—	13,76	14,01	14,63	13,54	—	—	14,00
	$\overline{\lambda}_e$	—	4263	4302	4326	4398	—	—	4309
Ensemble des étoiles	N. d'étoiles	2	44	176	38	24	6	1	291
	$\overline{m}_{pg}$	12,17	13,28	13,94	14,09	13,09	12,61	11,68	13,74
	$\overline{\lambda}_e$	4192	4261	4298	4343	4405	4445	4483	4310

TABLE II.

Distance	N. d'étoiles	$\overline{m}_{pg}$	λ_e	Aire (min. carrées)	Densité (par min. carrée)
0',0 - 2',5	33	13,44	4323	19,6	1,68
2',5 - 4',5	59	13,82	4309	44,0	1,34
4',5 - 6',5	45	13,44	4312	69,1	0,65
6',5 - 8',5	32	13,73	4302	94,2	0,34
8',5 - 10',5	36	13,83	4309	119,3	0,30
10',5 . 12',5	34	13,82	4304	144,4	0,24
12',5 - 14',5	28	13,93	4300	169,0	0,17
14',5 - 17',5	24	14,00	4309	302,0	0,08

région centrale de 13' de diamètre forme la condensation des étoiles les plus brillantes et les plus rouges.

Un examen des valeurs individuelles des λ_e nous montre aussi qu'il n'existe pas une différence appréciable entre la couleur des étoiles du groupe et celle des autres étoiles de la même région. La valeur moyenne de λ_e pour toutes les étoiles considérées est 4310 Å, avec une forte condensation dans l'intervalle 4275-4325. La magnitude photographique moyenne de toutes ces étoiles est 13,74. Admettant pour l'amas la parallaxe de 0''0013, nous en déduisons que toutes ces étoiles sont des naines, ayant la magnitude photographique absolue moyenne 4,3 (unité $\pi=0'',1$). La plus rouge aurait la magnitude absolue 2,3.

La manière particulière dont se comporte la relation entre la couleur et le type spectral des étoiles dans certains amas ouverts, tels que les Hyades, les Pléiades, Praesepe, par rapport à celle des étoiles en général, semble indiquer l'existence, dans l'amas, de nuages absorbants sélectifs.

Dans M. 67, toutes les étoiles sont faibles ; leur type spectral étant inconnu, il nous est impossible de voir quelle est la relation entre la couleur, caractérisée par la distribution de l'intensité dans le spectre continu, et le type spectral, caractérisé par l'intensité des raies du spectre.

Cependant, la grande prédominance, presque exclusive, d'étoiles rouges dans l'amas M. 67, pourrait ne pas être étrangère à la présence d'un phénomène, analogue à celui que nous venons de signaler dans d'autres amas.

TECHNIQUE DE LA PRISE DES CLICHÉS POUR L'OBSERVATION DES ASTÉROÏDES

par E. DELPORTE,

Astronome à l'Observatoire royal de Belgique

Cette note n'a pas en vue d'examiner successivement les applications nombreuses et variées de la photographie à l'astronomie. Nous nous bornerons au cas spécial de l'emploi d'astrographes à court foyer et par conséquent à grand champ pour la recherche des petites planètes et des comètes et pour l'obtention de données aussi précises que possible pour ces astres tant pour la position dans le ciel, que pour leur éclat.

Rappelons tout d'abord la façon dont on opère pour les plaques de la carte photographique du ciel, la méthode pouvant servir de point de départ pour le développement de la technique dont nous nous occupons. Deux lunettes sont montées parallèlement, l'une visuelle appelée lunette-guide, l'autre photographique. La lunette-guide est munie d'un réticule, les deux plaques porte-fils pouvant être déplacées perpendiculairement au moyen de vis micrométriques.

L'observateur maintenant l'étoile choisie comme centre de cliché, à la croisée des fils pendant les vingt minutes de la durée de pose, chaque étoile de la région agit par son flux lumineux sur le même point de la plaque sensible et est donc représentée, après développement, par un petit point noir dont l'opacité et le diamètre varient avec l'éclat de l'astre. La répétition de trois poses d'égale durée sur la même plaque, la position de l'étoile-guide ayant été modifiée chaque fois d'une petite quantité par le déplacement de la croisée des fils au moyen des vis micrométriques, donne sur la plaque trois images en triangle pour chaque étoile. Cet artifice a pour but de s'abstraire des erreurs de comptage d'étoiles pouvant se produire après une pose unique, certains défauts de plaques, provenant par exemple de grains de poussière, pouvant donner lieu à des images plus ou moins circulaires ressemblant aux images stellaires.

Avant l'exposition sur le ciel, la plaque a reçu une première impression lumineuse au travers d'un réseau formé d'une plaque argentée dont l'argenture a été enlevée par le tracelet d'une machine à diviser, suivant un quadrillé régulier. Le réseau quadrillé laisse passer la lumière d'une source convenablement disposée au laboratoire et imprime sur la plaque une réplique qui apparaît, après développement, en traits noirs sur le fond clair de la plaque. Ce quadrillé est destiné à faciliter les mesures de position des étoiles et le porte-châssis de la lunette photographique est muni d'un

cercle de position permettant de l'orienter de façon que l'une des directions du quadrillé épouse le parallèle apparent de l'étoile-guide.

Les instruments destinés à la recherche des petites planètes sont de même munis d'une lunette-guide à réticule. L'observateur peut opérer comme s'il s'agissait de la carte du ciel et obtenir des plaques où les étoiles seront représentées par des points. Seulement les caractéristiques de l'instrument photographique conduisent à modifier certains points de la marche des opérations, eu égard à l'utilisation des plaques.

Notons tout d'abord que l'objectif spécial destiné au service de la carte du ciel travaille au foyer 1:10 alors que l'astrographe Zeiss que possède l'Observatoire d'Uccle a le rapport focal 1:5, ce qui se traduit par ce fait que la plaque carrée de 16 cm. de côté couvre chez le premier objectif un peu plus de 2 degrés de côté alors que pour l'astrographe la plaque de 24 cm. de côté couvre 9 degrés, disons plus exactement qu'alors que 60″ d'arc représentent sensiblement un millimètre pour la carte du ciel, ces 60″ ne donnent à l'astrographe qu'une longueur de 0 mm. 4363 à l'équateur. Les images stellaires seront donc beaucoup plus rapprochées sur les plaques de l'astrographe que sur celles de la carte du ciel.

Les planètes se déplaçant à la voûte céleste par rapport aux étoiles, leur image, au lieu de se présenter sous forme de point comme les étoiles, se montreront sous forme de petits traits. Ce sont ces traits qu'il s'agit de rechercher parmi tous les points stellaires. Besogne ardue s'il en est et qu'il faut rendre aussi facile que possible. Dès lors, ainsi que l'a reconnu dès le début le professeur Wolf d'Heidelberg, le promoteur de la recherche des astéroïdes par la photographie, il serait nuisible d'imprimer un réseau quadrillé préalable sur la plaque, car ce réseau pourrait cacher les traînées de planètes.

De plus, il y a avantage pour ne pas surcharger la plaque, à ne faire qu'une seule pose, chaque objet céleste ne donnant donc qu'une seule image. Mais comme l'unité linéaire est petite, il faut augmenter la durée de la pose de façon à bien prononcer les traits planétaires (avec l'instrument d'Uccle ce trait a en moyenne 0 mm. 4 pour une pose d'une durée d'une heure, la largeur du trait n'atteignant pas 0 mm. 1).

A l'Observatoire d'Heidelberg (Königstuhl), l'instrument employé principalement à la recherche des astéroïdes, est muni de deux chambres photographiques identiques, d'où possibilité de prendre en même temps deux plaques de la même région du ciel ; la comparaison des deux plaques ne laisse place à aucun doute sur la réalité des objets dont les images se retrouvent de part et d'autre. Au début le professeur Wolf (1) s'arrangeait de façon à réaliser pour chaque plaque une pose de deux heures, dont une heure commune, la pose totale étant de trois heures. Les traînées de petites planètes chevauchaient donc sur les deux plaques.

Au moment de notre voyage en Allemagne (mai 1929) la pose de deux heures sans autre artifice était encore de règle à Heidelberg.

Dès 1924, année de la mise en service de l'astrographe d'Uccle, nous avons adopté un procédé différent. Tout d'abord, n'ayant qu'une seule

chambre photographique nous avons été amené à rechercher un moyen capable de nous faire différencier les images planétaires des défauts de plaques, défauts pouvant se présenter aussi bien sous forme de petits bâtonnets que sous forme de points, et des traits formés de la réunion sur la plaque des images de deux composantes d'une étoile double serrée. Un premier moyen a été la répétition de la plaque la même nuit à quelques heures d'intervalle, ou la nuit convenable la plus prochaine. Il n'y a donc pas superposition de traînée, à la comparaison des deux clichés, mais les deux petits traits dans le cas d'une petite planète doivent se retrouver sensiblement sur le prolongement l'un de l'autre. Mais immédiatement nous avons pensé à appliquer un autre moyen que voici :

Une première pose d'une heure environ (au début, cette pose a été poussée assez souvent jusqu'à un heure et demie) est suivie d'un intervalle d'un quart d'heure pendant lequel l'observateur maintient fermé l'obturateur de la chambre photographique tout en conservant l'étoile-guide à la croisée des fils ; cette interruption dans l'enregistrement photographique est suivie elle-même d'une seconde pose d'une durée variable (un quart d'heure environ) sur la même plaque.

De ce fait, les astéroïdes marquent leur présence sous la forme d'un trait interrompu en un point de son parcours, la partie courte ayant sensiblement la même longueur que le vide laissé par l'interruption. Cette façon de faire assure plusieurs avantages : 1° la discrimination suffisamment certaine des traces de planètes d'avec les défauts de plaques et les images condensées d'étoiles rapprochées ; 2° par la longueur totale du trait, une connaissance convenable de la vitesse de déplacement de l'astre; 3° par la position de la pose courte par rapport à la longue, la connaissance certaine du sens de déplacement de l'astre.

Ce dernier point est particulièrement important dans le cas de découverte d'une image cométaire, car le doute est levé de suite quant au sens du mouvement. Un exemple récent de ce doute a été fourni, il n'y a guère qu'un mois, par le télégramme annonçant la découverte d'une comète à l'Observatoire de Bergedorf, sans pouvoir fixer le sens du déplacement.

En vue de la mesure précise des positions

Dans la suite, notre façon de procéder s'est encore perfectionnée eu égard cette fois à la nécessité de fournir les mesures les plus précises de la position des astéroïdes. Il nous est apparu que cette précision serait mieux atteinte en prenant comme élément de mesure pour la planète une image aussi punctiforme que possible, ressemblant donc aux images stellaires.

En conséquence, la première pose restant libre quant à la durée, avec naturellement comme minimum le temps nécessaire à assurer à la traînée planétaire une longueur reconnaissable, l'intervalle de non-exposition de la plaque a été maintenu à un quart d'heure pour être certain d'avoir un vide entre les deux éléments de la traînée ; quant à la seconde pose, sa durée a été calibrée aussi exactement que possible pour que cette seconde

image de l'astéroïde soit punctiforme. M. Arend, assistant au service de l'astrographe, a précisé depuis, dans de petites tables calculées, la longueur de la deuxième pose à donner chaque fois suivant la déclinaison de l'astre et sa vitesse de déplacement.

Il est certain que la bissection d'un point se fait plus facilement que la bissection d'un trait dont la longueur a cinq ou six fois le diamètre du point. D'un autre côté, une traînée d'astéroïde a toujours ses extrémités arrondies et estompées et comme ces extrémités sont séparées en temps par une durée assez longue (une heure environ à Uccle, deux heures à Heidelberg), il peut se faire que ces extrémités soient assez dissemblables comme intensité en raison de variation de la transparence et de la pureté du ciel. Le pointage successif des deux extrémités de la traînée, au moyen du fil réticulaire de la machine à mesurer, nous semble devoir de ce fait donner moins de précision à la mesure que la bissection d'une image punctiforme.

De plus, comme l'orientation de la plaque, lors des mesures, peut jouer un grand rôle quant à la précision, nous avons précisé cette orientation en faisant inscrire par les étoiles elles-mêmes sur la plaque, la trace du parallèle apparent suivi. A cet effet, les deux poses séparées par l'interruption étant réalisées, l'observateur, à Uccle, arrête le mouvement d'horlogerie de l'instrument et laisse écouler un temps d'une durée de deux minutes avant la fermeture de l'obturateur. Les étoiles, jusqu'à la sixième grandeur, inscrivent ainsi leur parallèle bien net par un trait d'environ deux centimètres de longueur. Ces traits, en nombre limité, ne gênent aucunement la recherche des astéroïdes et sont d'un secours précieux pour la mesure, l'orientation étant faite à la machine au moyen des traînées les plus voisines de l'objet à mesurer. Ces traits eux-mêmes sont en plus une vérification régulière de la mise au foyer convenable de la chambre photographique. L'ensemble de la technique est employée à Uccle depuis fin 1924. Il est bien entendu que les temps des différents mouvements d'ouverture et de fermeture du châssis sont notés avec grand soin.

Eclat des astéroïdes

En 1927, notre attention a été attirée par un volume n° 5 des publications du *Goodsell observatory* (Carleton College, Northfield, Minnesota) donnant des observations photographiques d'astéroïdes et indiquant dans la préface la méthode d'observation suivie. Celle-ci tout en s'apparentant sur certains points avec la nôtre est cependant bien différente.

Les observateurs de Northfield se servent pour l'observation d'une lunette-guide dont le réticule forme un carré aux sommets duquel l'étoile centre de plaque est amenée successivement, le premier sommet étant répété en fin d'exposition. Il en résulte sur la plaque cinq poses successives de longueurs égales chacune à cinq ou six minutes (temps nécessaire à l'obtention d'un point). Les étoiles ont quatre images disposées en carré, la première plus intense puisqu'elle correspond à une pose de durée double

Pour les astéroïdes, les cinq images doivent être séparées, la cinquième s'étant placée non loin de la première. C'est donc la présence de ce cinquième point et la déformation du carré des quatre premiers qui doit faire reconnaître l'astéroïde. Nous reprochons à cette méthode l'accumulation d'images rendant plus difficile la recherche de l'astéroïde. Nous y trouvons par contre l'image punctiforme de l'astéroïde pour la mesure précise.

Dans l'observation des petites planètes, un autre point mérite considération, c'est la possibilité d'assigner un éclat suffisamment certain pour que les calculs pour les oppositions suivantes, faisant état du nombre fixé, renseignent exactement les observateurs. Ce nombre éclat peut avoir d'autres utilisations d'ailleurs en vue d'une supputation du diamètre de l'astre, un albedo moyen étant admis. Dans le cas de plaques obtenues par pose longue unique, ou par pose fractionnée comme à Uccle, la détermination approchée de l'éclat ne peut guère résulter que de la comparaison de la traînée à celles laissées par d'autres astéroïdes sur la même plaque, supposition étant faite que pour ces astéroïdes connus, les éclats renseignés aux éphémérides sont exacts. L'estimation par rapport aux disques stellaires ne peut se faire que grossièrement et moyennant une tare puisque les images stellaires résultent de l'action du flux lumineux de toute la durée de la pose sur un même point de la gélatine, tandis que d'autre part l'astéroïde a réparti sur ce même temps, l'action de sa lumière le long d'un trait. Dans le cas de Northfield, chacun des points stellaires, en dehors du premier, peut être pris comme élément de comparaison avec l'image correspondante punctiforme de la planète. A Northield, on prend d'ailleurs la précaution supplémentaire excellente d'inscrire sur une plaque provenant de la même boîte que celle employée pour l'astéroïde, avec la même durée de pose et immédiatement après cette dernière plaque, une séquence polaire. Une échelle intermédiaire de comparaison permet alors l'estimation de l'éclat de l'astéroïde.

Dans le cas actuel d'Uccle, la meilleure méthode à employer, est de faire un second cliché immédiatement après le premier, portant le ou les astéroïdes dont on désire estimer l'éclat ; ce second cliché de même centre que le premier, pour conserver les mêmes caractéristiques à la plaque, devra être posé pendant une même durée que la seconde pose de la première plaque de façon à avoir l'image punctiforme des astéroïdes qui résultera cette fois d'un même temps d'exposition que les images stellaires. Ce cliché peut, sans inconvénient, porter également une pose de même longueur de temps, faite sur une région type choisie dans le ciel à des conditions de hauteur suffisamment égales, de façon à obtenir des étalons d'éclat. Cette plaque indépendante de la première au point de vue mode de développement ne sera tributaire de celle-ci que pour réaliser la séparation des deux champs stellaires. D'ici peu de temps (un an approximativement), l'Observatoire d'Uccle sera pourvu d'un nouvel astrographe muni de deux chambres photographiques semblables. Nous nous proposons alors d'utiliser le nouvel instrument comme suit : les deux châssis étant chargés, l'une des chambres servira à la prise de plaques suivant le

rythme décrit précédemment, c'est-à-dire première pose longue devant donner le trait pour l'astéroïde, suivie de l'interruption d'un quart d'heure et continuée par la pose courte donnant le point pour l'astéroïde ; le seconde chambre ne sera utilisée que pendant l'interruption de pose de la première plaque ; la seconde plaque recevra la pose unique de courte durée (image punctiforme pour l'astéroïde).

La superposition des deux plaques au blink-microscope devra donc amener le point de la seconde plaque dans l'espace vide entre trait et point de la première plaque. De plus, grâce au pied coudé permettant le passage de l'instrument d'observation de part et d'autre du méridien, la pose pourra être réalisée de telle sorte que la seconde plaque soit prise aussi près du méridien que possible de façon à avoir pour le point à mesurer sur cette seconde plaque l'effet minimum provenant de la réfraction différentielle.

Les deux plaques seront à fin de pose soumises à la traînée d'orientation produite par l'arrêt du mouvement d'horlogerie pendant deux minutes avant la fermeture du châssis.

Je ne cite que pour mémoire une autre méthode de rechercher les astéroïdes par la photographie, méthode imaginée par J. Metcalf et employée dans différents observatoires. Elle consiste à modifier de telle façon la position de l'étoile-guide dans le champ de la lunette visuelle au cours de la pose, qu'en fin de compte l'astéroïde se montre sur la plaque sous forme d'un point, les images stellaires étant alors des traînées. Cette méthode conduit naturellement à la découverte d'astéroïdes plus faibles, mais les plaques ne sont pas susceptibles de la même précision de mesure, ni d'estimations d'éclat aussi certaines.

SUR LA DÉTERMINATION DES MAGNITUDES DES PETITES PLANÈTES

par Paul BOURGEOIS,

Assistant à l'Observatoire d'Uccle,

et J.-F. COX,

Assistant à l'Université de Bruxelles

A. *Discordance des déterminations effectuées dans divers observatoires*

Les observatoires d'Alger, Barcelone, Bergedorf, Bordeaux, Heidelberg, Moscou, Pino Torinese, Simeïs, Yerkes, publient régulièrement des observations de magnitudes au 0 m. 1 près ; Uccle communique beaucoup d'observations de positions sans déterminations correspondantes d'éclats.

Pour les objets connus, les magnitudes publiées ne sont parfois que celles données par les éphémérides.

Dans nombre de cas, les valeurs publiées présentent des écarts notables; M. le professeur Stracke a attiré, en particulier, notre attention sur les écarts systématiques des estimations de Yerkes et Heidelberg qui peuvent atteindre 2 m. environ pour les objets faibles (1).

Le problème se complique du fait que les magnitudes des astéroïdes, dont les calculateurs se sont servis pour le calcul de g et m_0, sont des magnitudes visuelles pour les petites planètes [1] à [322] alors que celles des planètes ultérieurement découvertes doivent être considérées comme fixées dans des échelles photographiques arbitraires (2).

La cause de ces discordances réside dans la diversité des méthodes utilisées pour déterminer les magnitudes, dans la variété des procédés et du matériel d'observation, dans le fait enfin que les magnitudes des petites planètes ne sont pas rattachées d'une manière systématique à un certain système photométrique.

B. *Principales méthodes utilisées pour déterminer les magnitudes*

Le problème que nous considérons ici est uniquement celui de la détermination de la grandeur photographique des astéroïdes qui figurent sur les clichés pris en vue des corrections d'éphémérides et dans l'espoir de découvrir des objets nouveaux ; les images de petites planètes qui figurent

(1) $m_{Y} > m_{H}$.
(2) D'après le professeur Stracke.

sur les clichés des régions surveillées dans ce but sont répartis d'une manière quelconque sur les plaques, et il faut tirer parti de celles qui apparaissent dans les coins et sur les bords des plaques.

1. *Méthode du professeur Van Biesbroeck (Yerkes Observatory).* — On fait une photo de la séquence polaire avec les plaques que l'on utilise habituellement pour la photographie des petites planètes. On détermine à l'aide d'une petite partie du champ l'échelle photométrique. Les clichés relatifs aux petites planètes étant toujours uniformément pris avec 20 minutes de pose, (durée qui, au réflecteur de Yerkes, donne un point sur la plaque comme image de l'astéroïde), on fait sur la séquence polaire une pose de même durée.

On compare avec une loupe à faible grossissement l'image de la petite planète à celle des étoiles de l'échelle photométrique. La magnitude vraie dépend de la hauteur. Un abaque dans lequel on porte sur la courbe des hauteurs les valeurs de la table d'extinction, permet d'effectuer à vue la réduction. La plaque de la séquence polaire est faite par une nuit moyenne.

2. *Méthode de l'observatoire Goodsell* [3]. — Cette méthode est analogue à la précédente. Une pose de 5 minutes sur la séquence polaire est faite lors *de chaque* observation sur une plaque tirée de la boîte de plaques dont on s'est servi pour la photographie des astéroïdes. Les deux plaques sont comparées à l'aide d'une échelle photométrique formée sur une troisième plaque.

3. *Troisième méthode.* — On compare directement les images formées sur les plaques qui viennent d'être prises à celles d'une plaque étalon. Les traînées sont comparées à des disques stellaires.

4. *Quatrième méthode.* — Elle est analogue à la troisième ; mais ce sont les traînées et non les disques stellaires figurant sur une certaine plaque qui sont considérées comme étalons.

C. *Importance de la mesure précise de l'éclat des petites planètes*

En dehors du besoin scientifique de précision, la nécessité d'un système coordonné de magnitudes apparaît particulièrement nécessaire à ceux qui s'occupent de la statistique des petites planètes.

Aucune investigation sérieuse ne peut être basée sur le matériel actuellement rassemblé ; en particulier, la fixation du nombre probable d'objets des diverses grandeurs ne peut être estimé d'une manière convenable ; on doit renoncer temporairement à l'étude de la répartition des masses (données statistiquement par l'éclat) en fonction des distances. Un système cohérent de valeurs de g serait précieux pour les travaux d'identification [4].

[3] H. C. Wilson et C. H. Gingrich, *Photographic observations of asteroids ;* Publ. Goodsell Observatory of Carleton College n° 5 (1917).

[4] Ceci est aussi l'avis du professeur Stracke.

D. *Cause présumée des discordances*

Des méthodes telles que celles de Yerkes et de Goodsell Observatory paraissent parfaitement adaptées au but poursuivi. La précision réellement atteinte doit être de l'ordre de 0 m. 2 et pourrait être améliorée par l'emploi de photomètres.

Nous pensons que les erreurs s'introduisent, quand on base les estimations d'éclat sur l'examen des plaques portant des traînées et non des disques absolument comparables aux images stellaires.

Nous pensons que les procédés photométriques habituels ne doivent pas être appliqués par les observateurs qui obtiennent les traînées.

Reprenant une idée du professeur L. Picart, l'un de nous [5] a cherché le parti que l'on peut tirer de la mesure des traînées pour les calculs astronomiques.

Nous nous proposons d'étendre cette recherche au domaine de la photométrie des astéroïdes.

E. *Précision des mesures micrométriques de traînées*

Il ne peut être question de comparer directement les mesures effectuées sur des traînées situées dans diverses régions de la plaque ; il faudrait pour cela appliquer des corrections en fonction de la distance au centre de plaque, de la mise au point sur les diverses régions (non-planéité des verres), de l'angle de position, des indices de coloration, etc. La voie à suivre ne peut donc être que le rattachement à trois ou quatre étoiles voisines de la traînée, auxquelles on se contenterait d'assigner, à défaut de grandeurs plus précises, celles de la carte photographique du ciel, qui permettraient encore d'espérer une erreur moyenne de 0 m. 1 sur les étoiles de comparaison.

Nous sommes arrivés à la conclusion que la mesure des dimensions des traînées peut se faire à 0″,5 près.

C'est ce que nous constatons, soit en utilisant le micromètre du comparateur Zeiss que possède l'Observatoire d'Uccle (grossissement 8) soit la machine à mesurer « la Genevoise » (grossissement 40).

Il y a une équation personnelle de l'observateur provenant du fait que le contour estimé des images est le lieu des points où le gradient de l'opacité a une valeur caractéristique pour celui qui effectue la mesure. Nous avons effectué des pointés avec des croisées de fils réticulaires, ou en tangentant des images avec l'axe ou le bord de ces fils ; les résultats sont analogues.

La représentation graphique des résultats que l'on obtient par une comparaison de la largeur des traînées des petites planètes aux diamètres de certaines images stellaires voisines, montre qu'en général une erreur de 0″,5 sur la mesure micrométrique entraîne un écart de l'ordre de 0 m. 1.

Il arrive fréquemment que les étoiles de la carte photographique du ciel ne soient pas assez faibles et qu'il faille créer, en se basant sur ces étoiles, une échelle extrapolée de diamètres de comparaison.

(5) Cox, J. F., *Bull. Lyon*, **8**, 3 (1926).

F. *Réduction de mesures micrométriques*

Les résultats de ces mesures seraient directement utilisables pour la comparaison si l'image de l'astéroïde n'était pas une traînée, mais un disque sensiblement circulaire.

Elles seraient aussi directement utilisables dans le cas d'une traînée obtenue par la variante de la méthode de Metcalf qui permet, en donnant à la lunette un mouvement angulaire tel qu'elle se déplace de la moitié du déplacement relatif propre apparent de l'astéroïde, d'obtenir pour la petite planète et les étoiles de comparaison des traits de même longueur. Le flux lumineux qui tombe sur la plaque et qui balaie une certaine zone permet de réduire un poids d'argent plus considérable que s'il arrivait toujours au même point.

La comparaison photométrique de traînées et d'images circulaires entraîne pour cette raison seule d'importantes erreurs ; la comparaison de traînées entre elles est aussi sujette à caution dès que les objets comparés ont des vitesses apparentes non identiques.

Pour apporter une correction éventuelle à des estimations photométriques de ce genre ou à des mesures micrométriques de la largeur des traînées, il faudrait bien connaître la formation des traînées.

On sait que cette question est mal connue. Nous croyons que l'on peut renverser le problème et donner une base expérimentale à l'étude de la formation des traînées en comparant les longueurs et les largeurs mesurées des traînées à la longueur théorique déduite des éphémérides.

Voici des comparaisons de ce genre. On a effectué les calculs en se bornant aux termes du premier ordre, l'erreur étant inférieure à $\frac{1}{30}$

G. *Formation des traînées des objets en mouvement relatif*

1. Dépouillement des plaques 699 et 700 de la collection d'Uccle.

699. 1929, février 2 ; de 8 h. 8 m. 2 s. à 8 h. 50 m. 2 s. T. S. U. (42 m. 0) centre : BD. 13° 2164 beau ciel ; plaque Impérial 1200.

700. 1929, février 2 ;de 9 h. 35 m. 12 s. à 9 h. 49 m. 30 s. T. S. U. (14 m. 0) centre : le même que celui de 699, beau ciel ; plaque Impérial 1200.

Désignation des planètes	dist. ang. au centre	mesures de la largeur des traînées		moyennes	mesures de la longueur des traînées		déplacements calculés		déplacements calculés + larg. mesurée	
		699	*700*		*699*	*700*	*699*	*700*	*699*	*700*
[112]	0°,6	7″.2	7″.7	7″.4	26″.2	10″.6	32″.5	11″.1	39″.9	18″.5
[221]	0°,4	9″.7	9″.6	9″.7	22″.9	12″.7	21″.4	7″.3	26″.7	17″.0
[851]	2°,0	6″.1	5″.3	5″.7	29″.4	9″.9	24″.8	8″.5	30″.5	14″.1
[984]	1°,7	9″.1	défaut gélatine	9″.1	18″.3	—	22″.8	—	31.″9	—
[1929 CA]	3°,7	5″.6	6″.3	6″.0	20″.8	9″.6	16″.6	5″.6	22″.6	11″.9

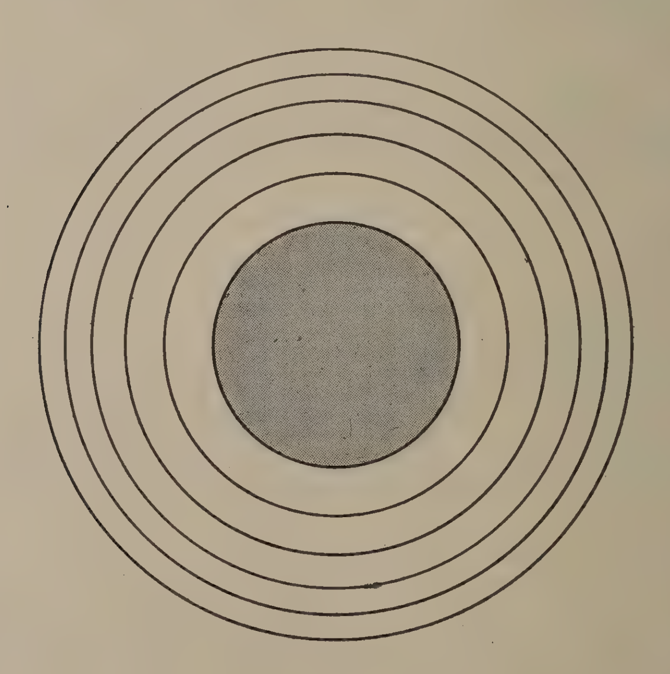
Le fait que les largeurs mesurées ne sont pas systématiquement plus grandes d'une plaque à l'autre montre que les erreurs commises peuvent être considérées comme des erreurs accidentelles et que le développement a, en particulier, produit sensiblement les mêmes effets sur les deux plaques. Nous adoptons donc une largeur moyenne des traînées, évidemment indépendante du temps de pose.

2. Dépouillement de la plaque 733 de la collection d'Uccle.

733. 1929, février 12 ; de 7 h. 33 m. 10 s. à 8 h. 14 m. 10 s. (41 m. 10) ; pose supplémentaire de 8 h. 32 m. 0 s. à 8 h. 46 m. 42 s. T. S. Uccle (14 m. 7), atmosphère transparente, images agitées, plaques Impérial 1200. Interruption de 17 m. 8. Centre : BD + 8° 2226.

Désign. des planètes	dist. ang. au centre	mes. de la larg. des traînées	mesures de la longueur des traînées (1)	(2)	(3)	déplacements calculés (1)	(2)	(3)	déplacements calculés + largeur mesurée (1)	(2)	(3)
[107]	2°,2	8″.5	40″.3	23″.8	12″.7	36″.0	20″.1	7″.2	44″.5	28″.6	15″.7
[246]	2°,4	7″.6	40″.5	24″.6	10″.4	45″.8	25″.5	9″.2	53″.4	33″.1	16″.8
[305]	0°,7	8″.4	44″.5	22″.4	9″.7	37″.2	20″.8	7″.4	45″.6	30″.8	19″.1

Ces dépouillements font apparaître la difficulté des mesures ; rappelons que les traînées ne doivent pas être comparées entre elles sans correc-



tion. On peut passer par l'intermédiaire d'étoiles de même magnitude situées dans leurs voisinages respectifs, mais nous ne pouvons reproduire ici les nombreuses mesures de ce genre que nous avons effectuées.

Les valeurs numériques rassemblées ci-dessus suffisent, en effet, à montrer que les traînées ne peuvent être considérées comme produites par le déplacement d'un disque uniformément lumineux, par exemple, car leur longueur devrait alors correspondre aux valeurs figurant dans les dernières colonnes de droite des tableaux précédents ; dans ce cas, les opacités aux différentes distances de l'axe de la traînée seraient fonction de la durée relative de l'exposition, c'est-à-dire de la longueur de la corde correspondant à cette distance du centre du cercle.

Il ne sera donc pas permis de comparer la largeur k de la traînée de longueur l au diamètre des images stellaires voisines en considérant que la durée de pose des unes a été les $\frac{l}{k}$ de celle qui aurait donné une image circulaire de la petite planète.

On peut admettre, en première approximation, que les images circulaires s'accroissent dans des temps égaux de couronnes circulaires d'aires égales au cercle formé dans l'unité de temps.

En seconde approximation, pour expliquer le ralentissement de cette extension, on peut introduire un coefficient d'absorption. Enfin, dans le cas des objets les plus faibles, il faut tenir compte du fait que l'accroissement du diamètre des images circulaires est, au début, impossible à mesurer et paraît dans tous les cas inférieur à celui qui résulterait de la loi précédente.

La théorie de la diffraction indique que pour un objectif de distance focale f et d'ouverture d, le diamètre δ de la tache de diffraction dans le plan focal, est donné par la relation $\delta = \frac{f}{d}$ (en microns).

Dans le cas de l'astrographe Zeiss d'Uccle, ce rapport vaut 5, en sorte que le diamètre de la tache de diffraction est 5 μ ou $0'',7$ si la partie de plaque considérée est parfaitement au foyer.

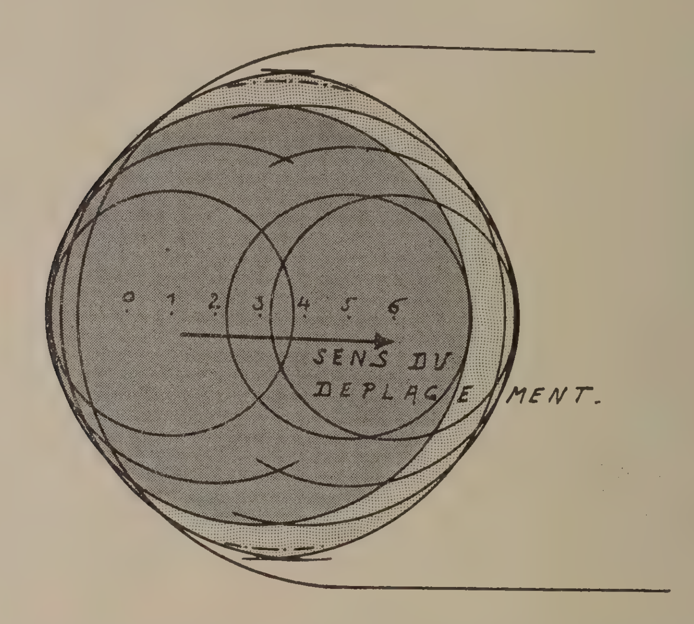
Nous concluons que l'on doit se représenter la formation d'une traînée de la manière suivante :

La petite tache de diffraction s'étend par suite d'un effet purement photographique et le diamètre qu'elle atteint au bout de l'unité de temps est fonction, pour une plaque donnée, de l'éclat de la source lumineuse. Si cette tache se déplace sur la gélatine sensibilisée, l'extension du diamètre aura lieu, en première approximation, conformément à la loi des aires équivalentes, *mais uniquement pour les régions qui auront déjà été impressionnées au cours des intervalles de temps précédant l'intervalle considéré.*

On se représente donc parfaitement que, d'après l'éclat d'un astéroïde, et la rapidité relative de son déplacement apparent, on puisse arriver à diverses constitutions de traînées.

Pour certaines, la longueur de la traînée pourra ne pas dépasser la grandeur du déplacement théorique ; on explique la formation d'images circulaires en des temps déterminés principalement par les caractéristiques

de l'objectif ou du miroir ; on peut rendre compte de certaines apparences de détail des traînées ; on peut admettre qu'elles commencent à se



former à partir de l'instant où par unité de temps, l'extension du rayon de l'image est plus petite que le déplacement de la tache de diffraction.

Sur la figure 1, on a représenté le cercle (hachuré) impressionné dans l'unité de temps ainsi que les circonférences limitant les disques impressionnés après des temps 2, 3, 4, etc...

Sur la figure 2, on a indiqué comment on peut expliquer de cette manière la formation d'une image sensiblement circulaire de 8″ de diamètre en 7 minutes, en même temps qu'on indique l'amorçage de la traînée.

H. *Comparaison des magnitudes visuelles et photographiques*

En attendant d'avoir un système purement photographique, on pourra considérer les magnitudes visuelles (affectées des équations de couleur) comme des magnitudes photovisuelles.

En admettant que les astéroïdes (supposés d'éclat constant) réfléchissent le rayonnement solaire qui leur parvient sans modification appréciable, on pourra prendre pour indice de coloration celui des étoiles du type G_0 soit 0 m. 57, ce qui consistera à faire pratiquement dans le cas qui nous occupe : $m_{ph} = m_v + 0$ m. 6.

J. *Conclusion*

Il résulte de cet exposé que si l'on voulait se baser sur des estimations photométriques ou sur des mesures micrométriques de traînées pour des déterminations de magnitudes de petites planètes, les corrections à appliquer d'après les considérations théoriques qui précèdent auraient un caractère aléatoire.

Le problème de la détermination photométrique des magnitudes des petites planètes, de même que celui de la détermination de leurs positions précises sur les plaques sont des problèmes distincts de celui du repérage d'objets sur les plaques. Si ce dernier est grandement facilité par l'obtention de traînées, les deux autres demandent une courte pose complémentaire, soit sur la même plaque *après décalage du centre* comme dans le cas de la carte du ciel, soit sur un cliché spécialement pris dans ce but.

SUR LA DÉTERMINATION DE POSITIONS PHOTOGRAPHIQUES PRÉCISES D'ASTÉROÏDES, BASÉE SUR LE PRINCIPE DE L'HOMOGRAPHIE

par S. AREND,

Assistant à l'Observatoire royal de Belgique

La détermination de positions photographiques précises d'astéroïdes, basée sur le principe de l'homographie se fait couramment par deux procédés : l'un, dû à Turner (1), l'autre, connu sous le nom de méthode des dépendances (2).

Des articles récents de MM. Lagrula et Gonnessiat (3) au sujet de cette dernière méthode, nous ont décidé à exposer la marche que nous avons suivie dans l'application des deux procédés aux clichés d'Uccle.

L'astrographe en usage, à l'Observatoire royal, est un triplet Zeiss de 1 m. 50 de distance focale et de 1/5 comme rapport focal.

Les plaques 24 cm. × 24 cm. correspondent à 9° × 9°.

Le problème à résoudre est donc le calcul de position sur des plaques à grand champ.

Dans le but de déterminer les limites d'applicabilité des méthodes précitées, le problème a d'abord été traité d'une façon purement géométrique.

Nous avons assimilé la plaque astéroïde et la plaque repère, carte du ciel, à deux plans tangents en des points 0_1 et 0_2 de deux spères concentriques de rayons égaux aux distances focales des astrographes correspondants.

Les deux systèmes plans P_1 et P_2 sont des sections de la gerbe qui a pour support le centre commun S des deux sphères. Ils sont perspectifs et homographiques. En les rabattant l'un sur l'autre, on sait que l'homographie se réduit à une homologie dans le plan commun.

Les coordonnées ternaires d'un point du système plan P_2 s'expriment en fonction des coordonnées ternaires du point homologue du système plan P_1 par les formules :

$$X_i' = a_{i1} X_1 + a_{i2} X_2 + a_{i3} X_3 \qquad (3)$$

pour $i = 1, 2, 3$, dans lesquelles les coefficients a_{ij} sont des constantes vérifiant la condition :

$$D = [\, a_{11}\, a_{22}\, a_{33}\,] \neq 0$$

(1) Turner, *M. N.*, **54**, 11.
(2) Schlesinger, *A. J.*, 874 (déc. 1926). — Wood et Comrie, *J. B. A. A.*, **39**, n° 6.
(3) Lagrula, *C. R.* n° 2, **189**. — Gonnessiat, *J. O.*, **12**, n° 10.

Les équations générales de la transformation, en coordonnées cartésiennes, sont de la forme :

$$x_2 = \frac{a_1 x + b_1 y + c_1}{a x + by + c} \qquad y_2 = \frac{a_2 x + b_2 y + c_2}{a x + by + c} \qquad (4)$$

Les formules (4), établies d'une manière directe, doivent nous permettre de nous rendre compte de la nature et de l'importance des coefficients.

Lorsque les points de tangences 0_1 et 0_2 sont homologues, les deux plans tangents sont parallèles et l'homologie se réduit à une homothétie. Les formules de correspondance entre les coordonnées des points des deux plans par rapport aux axes utilisés en pratique, ont évidemment l'une ou l'autre forme :

$$\begin{aligned} X_{oi} &= a\, x_i + b\, y_i + c \\ Y_{oi} &= d\, x_i + e\, y_i + f \end{aligned} \qquad (1) \qquad\qquad \begin{aligned} X_{op} &= D_1 X_{o1} + D_2 X_{o2} + D_3 X_{o3} \\ Y_{op} &= D_1 Y_{o1} + D_2 Y_{o2} + D_3 Y_{o3} \end{aligned} \qquad (2)$$

où x_i, y_i sont les coordonnées rectangulaires des étoiles repères sur notre cliché, X_{oi}, Y_{oi}, les coordonnées standard de ces étoiles sur le cliché de la carte du ciel, a, b, c, d, e, f, les constantes de Turner et D_1, D_2, D_3, les dépendances. Lorsque les points 0_1 et 0_2 sont sur des cercles de déclinaison correspondants, les plans P_1 et P_2 sont tangents aux cylindres de raccordement aux sphères le long des cercles considérés. Ils se coupent suivant une droite, l'axe d'homologie, parallèle à l'axe commun des deux cylindres. En prenant les axes y dans le plan des cercles de déclinaison et les génératrices passant par 0_1 ou par 0_2 comme axes des x, on obtient des équations de correspondance simples. M. Paloque est arrivé à de pareilles équations par un procédé différent (*J. O.* **12**).

Dans le cas où les points 0_1 et 0_2 ont des coordonnées sphériques toutes deux différentes, l'homologie s'établit de la même façon. Le plan $S0_1\,0_2$ coupe les sphères suivant deux grands cercles correspondants. En prenant pour axes des y, des axes passant par 0_1 et 0_2 et situés dans le plan de section ; pour axes des x, des droites à 90° des premières et passant par 0_1 et 0_2, les formules sont celles que l'on a obtenues dans le cas précédent.

Pour les mettre en conformité avec les données de la pratique, il faut d'abord faire tourner les axes rectangulaires considérés des angles β et γ de façon à amener les axes des x à être sensiblement parallèles au mouvement diurne ; ensuite, il faut effectuer une translation des axes du plan P_1.

Les formules ont la forme (4). En effectuant la division, on obtient le développement des coordonnées des points du plan P_2 en fonction de celles des points homologues du plan P_1, et des constantes de la transformation.

Il est possible de déterminer l'erreur géométrique commise en négligeant les termes du deuxième ordre en x et y. Cette erreur se présente de la même façon que dans la méthode des dépendances qui est également basée sur la correspondance homographique. Les dépendances sont des coordonnées ternaires spéciales : ce sont les coordonnées barycentriques

absolues de la planète rapportée au triangle des trois étoiles repères. Pour les déterminer, on peut procéder de diverses manières. Soient α, β, γ les coordonnées normales de P ; h_a, h_b, h_c les hauteurs du triangle ABC ; x_i, y_i les coordonnées rectangulaires des trois étoiles repères A, B, C ; x_p, y_p les coordonnées de la petite planète P. Les dépendances peuvent se mettre sous les quatre formes :

$$D_1 = \frac{PA_1}{AA_1},\ D_2 = \frac{PB_1}{BB_1},\ D_3 = \frac{PC_1}{CC_1} \quad \text{d'après Delporte ;}$$

$$D_1 = \frac{\alpha}{h_a},\quad D_2 = \frac{\beta}{h_b},\quad D_3 = \frac{\gamma}{h_c}$$

$$D_1 = \frac{\text{triangle } BPC}{\text{triangle } BAC} = \frac{(x_p\, y_2\, 1)}{(x_1\, y_2\, 1)}\ \frac{N_1}{N},\ D_2 = \cdots,\ D_3 = \cdots$$

d'après Comrie;

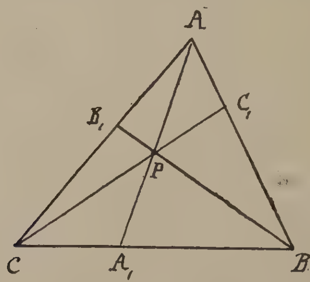
$$D_1 = \frac{PA_1}{AA_1},\ D_2 = \frac{A_1C}{BC}\,(1 - D_1),\quad D_3 = 1 - D_1 - D_2$$

d'après Schlesinger.

Les coordonnées homogènes x, y, 1 se déduisent des coordonnées barycentriques, par les formules :

$$x = D_1 x_1 + D_2 x_2 + D_3 x_3$$
$$y = D_1 y_1 + D_2 y_2 + D_3 y_3$$
$$1 = D_1 + D_2 + D_3$$

La dernière relation entre les dépendances prises suivant leur première signification n'est d'ailleurs que l'expression d'un théorème dû à Gergonne.



Lorsqu'on rattache la position d'une planète aux données d'un autre cliché, l'emploi des coordonnées barycentriques n'est rigoureux que pour autant que les deux clichés soient assimilables à deux systèmes plans en affinité. On sait, en effet, que dans ces conditions, deux points homologues D et D′ ont les mêmes coordonnées barycentriques dans deux triangles correspondants A B C, A′ B′ C′.

Au point de vue géométrique, il est possible de se rendre compte de l'erreur que l'on commet en se plaçant dans le cas de l'affinité alors que l'on n'y est pas autorisé. L'erreur maximum à prévoir est du même ordre que dans le cas de la méthode de Turner.

Cela n'est pas étonnant puisque cette méthode et celle des dépendances doivent, par leur nature même, conduire théoriquement au même résultat.

En cas de non-conviction, il suffit d'effectuer les développements des coordonnées standard X_{op} et Y_{op} de la planète dans les deux cas : ils sont identiques.

Nous ne nous servons jamais des coordonnées standard des étoiles repères. Nous déduisons des constantes A', B', C' à partir des coordonnées mesurées telles qu'elles sont dans les catalogues, nous calculons les coordonnées de même nature relatives à la planète et nous passons aux coordonnées standard par l'application des constantes des clichés carte du ciel.

Il en est évidemment de même pour la méthode des dépendances.

Les démonstrations faciles exigent des développements trop longs pour être reproduits ici.

En ce qui concerne l'application des dépendances aux coordonnées équatoriales, nous pensons que les termes du troisième ordre sont négligeables dans un rayon de 1°, ceux du quatrième ordre, dans un rayon de 2°,5.

Dans le cas d'un développement de l'ascension droite et de la déclinaison de la planète α_p et δ_p jusqu'aux termes de deuxième ordre inclusivement, si l'on pose

$$\alpha_p = \Sigma D \alpha, \qquad \delta_p = \Sigma D \delta$$

il en résulte que l'on peut prendre pour origine une étoile repère quelconque au lieu du centre du cliché. En effet, on obtient pour différence des développements de α_p et δ_p :

$$\alpha_{p1} - \alpha_{p2} = A_1' [(\alpha_1 - \alpha_o) (\Sigma D \delta - \delta_p) + (\delta_1 - \delta_o) (\Sigma D \alpha - \alpha_p)]$$

$$\delta_{p1} - \alpha_{p2} = 2 D_1' (\alpha_1 - \alpha_o) (\Sigma D \alpha - \alpha_p)$$

$$\alpha_{p1} = \alpha_{p2} \text{ et } \delta_{p1} = \delta_{p2}, \text{ si l'on pose } \delta_p = \Sigma D \delta \text{ et } \alpha_p = \Sigma D \alpha$$

On ne peut plus prendre une étoile repère pour origine lorsque les termes d'ordre supérieur au second interviennent.

En effet, on obtient, en ne considérant que les termes du troisième ordre en α :

$$\alpha_{p1} - \alpha_{p2} = - 3 A_2' [(\alpha_1 - \alpha_o) (\alpha_p^2 - \Sigma D \alpha^2) - (\alpha_1^2 - \alpha_o^2) (\alpha_p - \Sigma D \alpha]$$

Pour que $\alpha_{p1} = \alpha_{p2}$, il faudrait que l'on ait en même temps :

$$\alpha_p = \Sigma D \alpha \qquad \text{et} \qquad \alpha_p^2 = \Sigma D \alpha^2$$

ce qui est impossible.

Les coefficients des termes des deuxième, troisième et quatrième ordres ont été mis en tables.

Nous avons seulement recours à la méthode des dépendances en coordonnées cartésiennes dans les cas où les étoiles repères, généralement renseignées dans l'*Index der Sternörter* de Hambourg, ne peuvent être situées dans un cercle dont le rayon peut varier entre 15' et 30' suivant que la région considérée est marginale ou centrale.

Il est possible de déterminer très rapidement une position précise si l'on se base sur la valeur du tour de vis de la machine de mesure et sur l'orientation du cliché d'après une traînée fournie par une étoile lorsqu'on arrête le mouvement d'horlogerie qui entraîne la lunette. En appelant t la valeur du tour de vis, évaluée en secondes de temps pour les réductions en α et en secondes d'arc pour les réductions en δ, les calculs sont les suivants :

$$\alpha_{pi} = \alpha_i + (x_i - x_p)\, t \sec \delta_p \,, \quad \delta_{pi} = \delta_i + (y_i - y_p)\, t \qquad \text{(I)}$$

où $i=1, 2, 3$.

$$\alpha_p{}' = \frac{\Sigma\, \alpha_{pi}}{3} \qquad \delta_p{}' = \frac{\Sigma\, \delta_{pi}}{3} \qquad \text{(II)}$$

$$\alpha_p = (\alpha_{p1} - \alpha_p{}')\, D_1 + (\alpha_{p2} - \alpha_p{}')\, D_2 + (\alpha_{p3} - \alpha_p{}')\, D_3 + \alpha_p{}' \qquad \text{(III)}$$

$$\delta_p = (\delta_{p1} - \delta_p{}')\, D_1 + (\delta_{p2} - \delta_p{}')\, D_2 + (\delta_{p3} - \delta_p{}')\, D_3 + \delta_p{}' \qquad \text{(IV)}$$

(II) peut s'écrire :

$$\alpha_p = \alpha_{p1}\, D_1 + \alpha_{p2}\, D_2 + \alpha_{p3}\, D_3$$

ce qui équivaut à :

$$\alpha_p = \alpha_1\, D_1 + \alpha_2\, D_2 + \alpha_3\, D_3$$

c'est-à-dire à la position calculée, sans tenir compte des termes d'ordre supérieur.

Le groupe de formules (1) permet de reconnaître les erreurs flagrantes de mesures et de positions des étoiles repères.

Pour une erreur d'orientation de $30'$, ce qui est le maximum que nous puissions commettre, on peut démontrer que les écarts ne peuvent dépasser 1^s ou $15''$.

Généralement, ils sont beaucoup moindres ($0^s,3$ et $8''$).

Les différences $\alpha_{pi} - \alpha_p{}'$ sont donc toujours très petites et des dépendances à 1 ou 2 décimales au maximum suffisent.

Si on calcule ces dépendances indépendamment de la méthode directe et si l'on modifie la position obtenue des termes d'ordre supérieur, on obtient un résultat identique à celui fourni par la méthode directe. Généralement, nous nous contentons de comparer les résultats aux termes du deuxième ordre près. C'est là une précieuse vérification.

L'orientation au moyen d'une traînée d'étoile a été employée d'une façon systématique par M. Delporte. Nous avons recherché théoriquement et pratiquement quelle était la valeur de cette orientation. On sait que la traînée faite par une étoile est la projection, à partir du centre de la sphère céleste, du parallèle décrit par l'étoile, ou la section conique déterminée par le plan du cliché dans le cône circulaire droit qui a pour sommet le centre de la sphère céleste et pour directrice le parallèle de l'étoile. Dans le cas de la photographie d'astéroïdes, les déclinaisons atteintes étant toujours inférieures à 45°, les étoiles donnent lieu à une famille d'hyperboles dont le lieu des foyers est l'axe des y passant par le centre de plaque. Une

seule branche est représentée lorsqu'il n'y a pas à la fois des étoiles à déclinaison positive et d'autres à déclinaison négative.

Dans la région boréale, les branches d'hyperboles tournent leur concavité vers le nord. Lorsque des mesures sont à effectuer dans les diverses zones d'un cliché, on peut prendre une traînée d'étoile pour axe des x. L'orientation est évidemment valable pour une petite région. L'angle fait par deux axes x relatifs à deux étoiles est celui des tangentes aux deux branches d'hyperboles qui passent par ces points.

Nous avons traité ce problème dans différents cas afin de nous permettre d'orienter judicieusement les clichés. L'erreur de notre orientation vaut en moyenne 15′ et ne peut dépasser le double.

Dans les déterminations de positions, il n'y a pas lieu de faire intervenir des corrections telles que celles dues à la réfraction différentielle et qui sont des fonctions linéaires des coordonnées mesurées. Ces corrections peuvent s'écrire :

$$\Delta x = a\,x + b\,y + c$$
$$\Delta y = d\,x + e\,y + f$$

La substitution à x et y de leurs valeurs corrigées $(a+1)x+b\,y+c$ et $d\,x+(e+1)y+f$ revient à une transformation de coordonnées n'affectant pas les coordonnées barycentriques.

M. Paloque a donné dans le *J. O.* **12**, des développements intéressants des x, y théoriques en fonction des x' y' entachés de réfraction.

Nous donnons ci-dessous, d'après la formule $E = 51.566''\ \mathrm{tg}\,\alpha\ \mathrm{tg}^2\,\varepsilon$, un tableau des écarts angulaires à craindre, en fonction de l'écart moyen ε entre les étoiles repères et l'écart angulaire α des centres des clichés dans le cas où l'on assimile l'homologie à une similitude, qui est l'affinité particulière que l'on suppose exister entre les figures planes des clichés astéroïde et repère.

ε \ α	1°	2°	3°	4°
20′	0″,03	0″,06	0″,09	0″,12
30′	0″,07	0″,14	0″,21	0″,28

LE CATALOGUE ET LA CARTE PHOTOGRAPHIQUES DU CIEL

par J. DELVOSAL,

Astronome à l'Observatoire royal de Belgique

Le but de la présente note est de faire connaître l'état actuel d'avancement de cette entreprise internationale.

Nous croyons qu'il ne sera pas dépourvu d'intérêt de faire précéder cet inventaire d'un court résumé historique de la question.

Emerveillé par les résultats pleins de promesses obtenus, à la fin du siècle dernier, par deux astronomes français, les frères Henry, à l'aide d'un objectif photographique, calculé et taillé par eux-mêmes, le directeur de l'Observatoire de Paris, l'amiral Mouchez, conçut le projet grandiose de dresser, en utilisant exclusivement des observations photographiques, un catalogue et une carte de toutes les étoiles du ciel jusqu'à une grandeur qui devait être définie par la suite.

Une coopération internationale était évidemment indispensable pour mener à bonne fin une entreprise d'une telle envergure, à laquelle l'Académie des Sciences de Paris s'empressa d'accorder son haut patronage.

A son initiative, une conférence internationale se réunit en 1887. Y avaient été invités tous les directeurs d'observatoires du monde entier, ainsi qu'un certain nombre de chercheurs qui s'étaient déjà signalés par leurs travaux sur les applications de la photographie à l'astronomie.

Près de soixante savants appartenant à diverses nations, participèrent à ce Congrès.

L'accord fut rapidement établi et l'on posa les bases d'une importante entreprise internationale qui devait consister :

1° A photographier le ciel tout entier pour en réaliser une carte contenant toutes les étoiles jusqu'à la quatorzième grandeur inclusivement ;

2° A déduire des mesures, qui seraient effectuées sur une seconde série de clichés à courte pose, les positions précises de toutes les étoiles de magnitude supérieure à la douzième.

Cette conférence confia à un comité permanent international le soin de régler toute l'organisation de ce travail.

Ce comité composé de onze membres, auxquels furent adjoints les directeurs des observatoires participants, se réunit périodiquement, notamment en 1889, 1891, 1896, 1900 et 1909.

Au cours de ces réunions furent pris tous les accords concernant la répartition du travail et tous les points de détail se rapportant à l'exécu-

tion et à la publication des résultats : instruments, nature et format des plaques photographiques, choix des étoiles de repère, mesures et méthodes de réduction, agrandissement et reproduction, etc.

Dès 1889, il fut décidé de répartir le travail entre dix-neuf observatoires distribués dans les deux hémisphères.

En 1891, cette répartition provisoire fut légèrement modifiée et adoptée comme suit :

+90° à +65°	Greenwich	1149	plaques
+64° à +55°	Rome (Vatican)	1040	»
+54° à +47°	Catane	1008	»
+46° à +40°	Helsingfors	1008	»
+39° à +32°	Potsdam	1232	»
+31° à +25°	Oxford	1180	»
+24° à +18°	Paris	1260	»
+17° à +11°	Bordeaux	1260	»
+10° à +5°	Toulouse	1080	»
+4° à —2°	Alger	1260	»
—3° à —9°	San Fernando	1260	»
—10° à —16°	Tacubaya	1260	»
—17° à —23°	Santiago	1260	»
—24° à —31°	La Plata	1360	»
—32° à —40°	Rio de Janeiro	1376	»
—41° à —51°	Cap de B. Esp.	1512	»
—52° à —64°	Sydney	1400	»
—65° à —90°	Melbourne	1149	»
	Total :	22054	plaques

Dans la pensée des organisateurs, cette liste devait être définitive et rester inchangée jusqu'à l'exécution complète du programme. Mais il en alla tout autrement.

La réalisation d'une entreprise d'une telle envergure, nécessitant des concours multiples et disparates, et dépendant de facteurs très divers, devait rencontrer d'insurmontables difficultés. Des défections se produisirent, de la part surtout d'observatoires qui ne parvinrent pas à s'assurer les interventions financières indispensables.

Malgré leur bonne volonté, les directeurs des observatoires de l'Amérique du Sud durent, à leur grand regret, se récuser. C'est ainsi que les participations des observatoires d'Hyderabad aux Indes, de Cordoba en Argentine et de Perth en Australie, vinrent se substituer à celles de Santiago, de la Plata et de Rio de Janeiro. L'Observatoire de Perth fut, par la suite, secondé par celui d'Edinburgh pour la mesure des clichés du catalogue.

L'Observatoire de Potsdam, à son tour, ne tarda pas à informer le Comité permanent de sa décision de limiter au catalogue sa collaboration, déclarant ne disposer ni du personnel ni des crédits nécessaires à la réalisation de la carte proprement dite : c'est ainsi que cette partie du travail fut reprise par l'Observatoire royal de Belgique. Même, en ce qui concerne le catalogue, l'activité des astronomes allemands se ralentit très rapide-

ment, à tel point que, dès avant la guerre, elle était devenue à peu près nulle.

Après 1918, le Comité permanent, présidé jusqu'alors par le directeur de l'Observatoire de Paris, cessa d'exister comme organisme indépendant : toutes ses prérogatives et attributions furent transmises à un groupement nouveau *l'Union astronomique internationale*, créé à l'initiative du *Conseil international de Recherches.*

Depuis la réunion tenue à Rome en 1922, c'est la commission n° 23 de cette Union, présidée par M. Turner, directeur de l'Observatoire d'Oxford, qui assume la continuation de l'entreprise .

Pendant et après la guerre, l'Observatoire de Potsdam ayant suspendu complètement son travail de collaboration, nous avions cru, après accord préalable avec notre directeur, pouvoir offrir la participation de la Belgique à l'achèvement du catalogue photographique entamé par les Allemands, c'est-à-dire pour la zone située entre les parallèles de +32° à +39°, dont l'exécution de la carte nous avait été confiée en 1905.

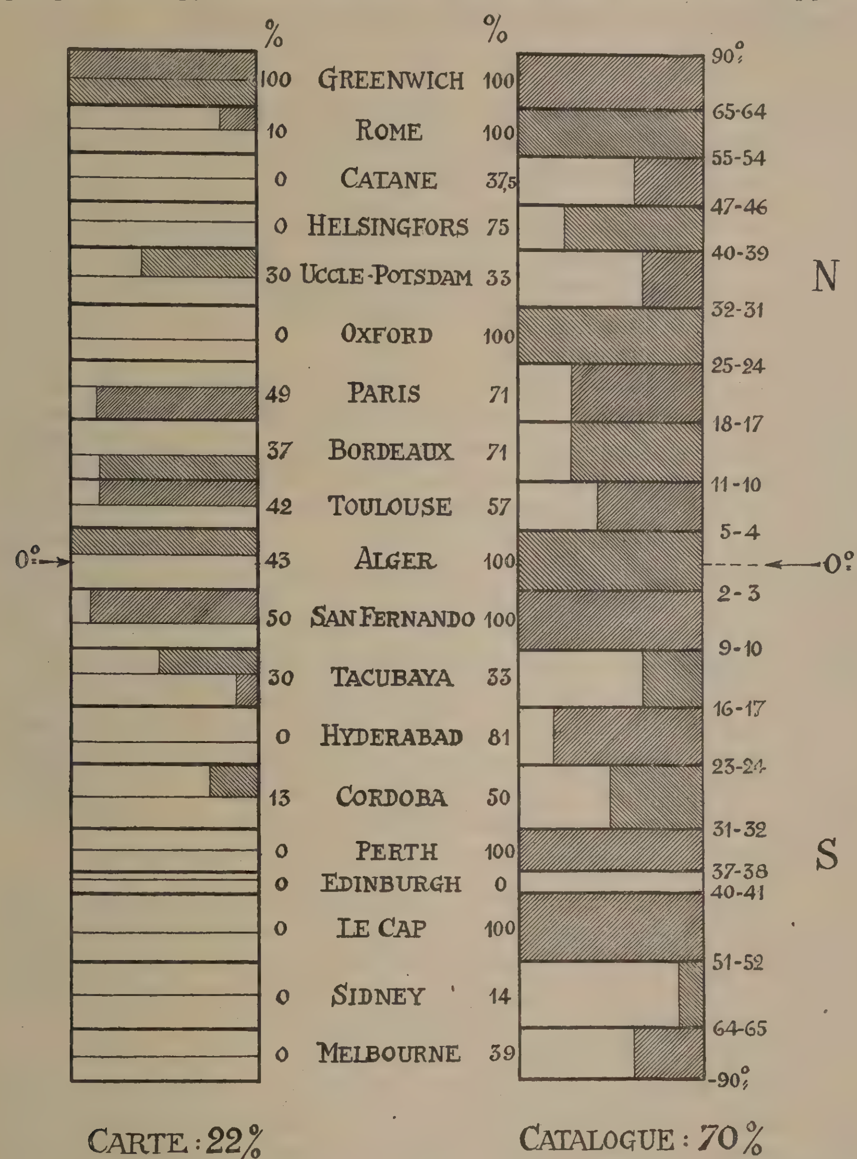
Notre proposition fut agréée, en principe, et la commission compétente décida que son Président s'adresserait, par la voie diplomatique, au Gouvernement belge en vue d'obtenir et son approbation, et l'octroi des subsides nécessaires à la publication des résultats. Il fut toutefois entendu que, préalablement, une dernière démarche serait tentée auprès du directeur de l'Observatoire de Postdam afin de connaître son intention définitive. Ce dernier ayant répondu par un *non possumus*, M. Turner fit écrire à notre Gouvernement.

Le ministre d'alors se désintéressa tellement de la question que, non seulement il s'abstint de donner suite aux sollicitations transmises par le Foreign Office, mais il oublia même d'en informer, pour avis, la direction de l'Observatoire. Las d'attendre, le Président de la Commission, se crut obligé de considérer ce silence comme une fin de non-recevoir et force lui fut de tenter d'autres démarches qui aboutirent au résultat suivant : ce qui restait à mesurer, réduire et publier du catalogue de Postdam, serait partagé entre les observatoires d'Oxford et d'Hyderabad et exécuté grâce à des subventions de l'Union astronomique internationale. La Belgique perdit ainsi une belle occasion d'élargir son champ d'activité dans le concert astronomique international.

*
* *

Les instruments utilisés pour la réalisation de l'entreprise telle qu'elle avait été conçue et développée dans les réunions successives du Comité permanent pour l'exécution de la carte photographie du ciel, ont été réalisés suivant un type sensiblement uniforme se prêtant particulièrement bien aux mesures délicates et précises. Aussi, de nombreuses recherches intéressantes vinrent-elles se greffer sur le programme primitif : mesures d'étoiles doubles sur les clichés, études d'amas, recherches d'astéroïdes, détermination de mouvements propres par comparaison des clichés des mêmes

régions pris à des intervalles suffisants, etc. Il convient, à ce propos, d'accorder une mention toute spéciale à une belle série d'observations photographiques se rapportant à la petite planète Eros, lors de son opposition



de 1900-1901. Toutes ces observations furent centralisées à l'Observatoire de Cambridge, en Angleterre, où M. Arthur Hinks, astronome à cet établissement, entreprit, aidé financièrement par la Société royale de Londres et grâce au concours d'un personnel spécialisé, toutes les mesures, réductions et discussion des résultats. Il en déduisit, pour la parallaxe du soleil, la valeur de $8''806$ avec une erreur probable de $\pm 0''004$.

Grâce à des collaborations similaires, la prochaine opposition d'Eros, en 1931, sera l'occasion de recherches du même genre qui permettront, vraisemblablement, de déterminer avec une précision plus grande encore, la valeur de cette constante fondamentale de l'astronomie.

*
**

Nous allons maintenant procéder à un rapide examen de l'état d'avancement, à ce jour, du catalogue et de la carte photographiques du ciel.

1° *Le catalogue.* — A l'origine, on avait estimé que cette partie de l'entreprise pourrait être réalisée en dix à douze années. Ces prévisions ont été largement dépassées et l'on peut, sans craindre de se tromper de beaucoup, évaluer à une dizaine d'années encore, le temps nécessaire à l'achèvement du catalogue.

Afin de permettre de juger du degré d'avancement, d'un seul coup d'œil et sans devoir recourir à des énumérations trop détaillées, nous avons dressé une sorte de diagramme, en portant de part et d'autre de l'équateur des longueurs proportionnelles aux nombres de clichés à réaliser dans chaque observatoire, donc sensiblement proportionnelles aux surfaces de la voûte céleste à photographier. Les portions noircies des bandes correspondant aux déclinaisons attribuées aux divers observatoires participants montrent les parties exécutées du programme. Les nombres inscrits à droite des noms d'observatoires indiquent pour chacun d'eux, en pour cent, le degré de réalisation de la zone du catalogue qui lui a été dévolue.

Une bande blanche, telle que celle d'Edinburgh signifie seulement que rien n'a été *publié* jusqu'à présent. Nous savons toutefois que la majeure partie des clichés en ont été mesurés et réduits ; les volumes correspondants du catalogue n'ont pu être imprimés faute de fonds.

En totalisant pour les différentes zones, nous avons trouvé un chiffre voisin de 70 % représentant la partie publiée du catalogue.

2° *La carte.* — En ce qui concerne la seconde partie du programme : l'obtention des clichés à poses multiples et de longue durée et leur reproduction agrandie, quatre fois en surface, par des procédés exclusivement photographiques, force est de constater que le travail est très en retard et a manqué dès le début, d'uniformité dans l'exécution.

Ainsi l'Observatoire de Greenwich, en dépit des conventions adoptées, s'est contenté, pour la carte, de prendre des clichés à une seule pose : d'où confusions fréquentes entre images réelles et faux points, et aussi pertes d'étoiles parce qu'imperceptibles. Ensuite, au lieu de reproduire les agrandissements de ces clichés par les procédés d'héliogravure généralement adoptés, il les a simplement imprimés en négatifs sur papier au bromure d'argent dont la conservation est très mal assurée et qui se prête peu aux travaux de recherches et de mesures.

A l'origine, le Comité permanent avait décidé que chaque observatoire publierait deux séries de cartes dont les centres se trouveraient respecti-

vement sur les parallèles de déclinaisons paires et impaires de sa zone. Plus tard, en présence des grosses difficultés rencontrées, il fut admis que l'on se contenterait provisoirement d'une des deux séries. Il semble bien probable, toutefois, que le provisoire restera le définitif, du moins d'ici longtemps.

D'après nos recherches, la partie publiée de la carte photographique du ciel représente 22 % seulement du travail complet (zones paires et impaires), ou bien 37 % en admettant que chaque observatoire participant ne publie que les planches de déclinaisons paires ou impaires.

Le tableau suivant fait connaître la situation des divers observatoires ayant accepté de collaborer à la publication de la carte.

Observatoires	Nombres de plaques		Cartes publiées		Total publié
	δ impaires	δ paires	δ impaires	δ paires	
Greenwich	584	565	584	565	1149
Vatican	540	500	107	0	107
Catane				0	0
Helsingfors	432	576	0	0	0
Potsdam-Uccle	608	624	370	0	370
Oxford	680	500	0	0	0
Paris	540	720	0	621	621
Bordeaux	720	540	0	460	460
Toulouse	540	540	452	0	452
Alger	540	720	540	2	542
San Fernando	720	540	637	0	637
Tacubaya	540	720	285	90	375
Santiago-Hyderabad	740	540	0	0	0
Cordoba	680	680	180	0	180
Perth	608	768	0	0	0
Le Cap	816	696	0	0	0
Sydney	660	740	0	0	0
Melbourne	584	565	0	0	0

SUR LES FORMULES DE RÉDUCTION PHOTOMÉTRIQUE DES DIAMÈTRES D'IMAGES STELLAIRES ET LEUR RELATION AVEC LE TYPE SPECTRAL

par P. SWINGS,

Assistant à l'Université de Liége (Institut d'Astrophysique)

et A. LEGROS

Docteur en sciences physiques et mathématiques

Si l'on suit la classification des spectres stellaires de la classe B à la classe M, on constate que le maximum d'intensité du fonds continu du spectre se déplace de plus en plus vers le rouge. Cette variation correspond au fait que la température va en diminuant de B vers M (1). La classe spectrale est elle-même, étroitement liée avec l'indice de couleur, savoir

$$i = m' - m''$$

m' étant la magnitude photographique et m'' la magnitude photovisuelle (c'est-à-dire obtenue au moyen d'une plaque orthochromatique et d'un filtre jaune).

Il existe des méthodes de détermination précise de cet indice de couleur par exemple la méthode des longueurs d'onde effectives (Hertzsprung, Bergstrand, Lindblad,...) appliquée notamment par M. Vanderlinden dans la détermination des longueurs d'onde effectives des étoiles de l'amas de Praesepe et de l'amas Messier 67.

Mais d'habitude, la détermination de $m' - m''$ se fait d'une manière beaucoup moins précise, soit par la mesure des diamètres des images focales stellaires, soit par la mesure des opacités des plages extrafocales (2). Par exemple, pour la méthode focale, on procède par inter- et extrapolation (graphique ou par moindres carrés), en partant des mesures des diamètres d'images correspondant à des magnitudes connues. Mais il semble bien qu'on n'ait pas le droit d'employer les mêmes diagrammes ou formules pour les différents types spectraux, c'est-à-dire pour les différentes colorations stellaires.

Il ne nous semble pas inutile d'indiquer un petit procédé très simple, permettant l'étude photométrique rapide et précise, en laboratoire, d'étoiles artificielles de longueurs d'onde diverses. La méthode exposée présente de grands avantages au point de vue sensitométrique : on obtient sur une même plaque les photographies correspondant à un certain nombre d'étoiles

(1) Les étoiles B ont des températures comprises entre 12.000 et 20.000 degrés ; les étoiles M ont seulement des températures de 2.000 à 3.000 degrés (type Mira-Ceti).

(2) En collaboration avec M. Dehalu, un des auteurs a étudié une méthode basée sur la mesure de l'opacité des traînées photographiques stellaires. M. Dehalu et P. Swings, *Bull. Cl. des Sc., Ac. R. Belg.*, série 5, **15**, 746-748 (1929).

monochromatiques, pour plusieurs durées d'exposition ou pour plusieurs grandeurs stellaires ; on se trouve ainsi dans de bonnes conditions (indépendance du développement, homogénéité moins incertaine de l'émulsion, parfois influence moins grande d'une erreur sur le temps de pose, etc.).

Comme source lumineuse, nous avons utilisé un arc à mercure d'intensité bien constante (vérifiée préalablement) ; nous avions ainsi une série de longueurs d'onde, allant de λ 5.790 à λ 4.046. Un objectif de projection concentrait la lumière de l'arc sur une lame métallique présentant une série d'ouvertures circulaires de l'ordre de 10^{-1} mm. de diamètre. Une petite glissière permettait de faire voyager la lame métallique et d'utiliser ainsi successivement toutes les ouvertures. Un objectif de microscope donnait sur la fente d'un spectrographe, une image réduite six fois des ouvertures éclairées de la lame. Le collimateur rendait le faisceau lumineux parallèle (analogie avec les étoiles) ; l'objectif de chambre remplaçait l'objectif astrophotographique. On obtenait ainsi sur la plaque du spectrographe, une série d'images monochromatiques des ouvertures éclairées, réduites par l'objectif du microscope. Comme émulsion photographique, nous avons utilisé les plaques panchromatiques Guilleminot.

Pour l'étude de la méthode focale, on utilisait le spectrographe réglé. Pour la méthode extrafocale, on pouvait dérégler l'objectif de chambre, mais on a préféré employer le procédé du verre dépoli (procédé Henroteau). L'obtention de temps de pose différents et précis est élémentaire. Pour obtenir des grandeurs stellaires différentes, la meilleure solution semble consister dans une seule ouverture lumineuse combinée avec deux nicols. On procède actuellement à des expériences sur ces sujets à l'Observatoire de Cointe.

Pour l'étude de la variation des diamètres d'images stellaires en fonction du temps de pose, nous avons photographié chaque série d'étoiles monochromatiques pour douze temps de pose allant de 1 à 1.800 secondes. Les résultats des mesures au comparateur montrent que les diamètres suivent sensiblement la loi de Scheiner.

$$d = a + b \log t \qquad (a \text{ et } b = \text{constantes}).$$

Déterminons par la méthode des moindres carrés, les valeurs les plus probables de a et b pour différentes longueurs d'onde. Evidemment, on doit s'attendre à ce que a varie avec λ, les étoiles artificielles de teintes différentes ayant des intensités lumineuses différentes (raies du mercure) ; d'ailleurs l'émulsion possède une sensibilité différente pour les différents domaines spectraux.

Mais on constate aussi que le coefficient b varie fortement et d'une manière assez irrégulière, même dans des intervalles spectraux assez étroits.

Ainsi, on a trouvé

λ	b
4.046	33
4.358	72

Il existe vraisemblablement un fait analogue pour les formules reliant la grandeur stellaire et le diamètre de l'image : des expériences sont actuellement en cours et feront l'objet d'une publication ultérieure.

SUR LA COMPARABILITÉ DES MESURES EFFECTUÉES PAR LES OBSERVATEURS D'ÉTOILES VARIABLES QUI UTILISENT LA MÉTHODE D'ARGELANDER OU L'UNE DES MÉTHODES DÉRIVÉES

par J.-F. COX,

Assistant à l'Université de Bruxelles

et Am. DERMUL,

Vice-président de l'Association française d'observateurs d'étoiles variables

---

Il appartient aux grandes associations, qui groupent les observateurs d'étoiles variables, de réduire au système photovisuel international les magnitudes des étoiles de comparaison qu'elles utilisent. Lorsqu'elles auront réalisé cette partie de leur programme, on apercevra sans doute, plus encore que par le passé, la nécessité de tenir compte des équations personnelles systématiques des observateurs.

On admet assez généralement (¹) que ces équations personnelles sont surtout des équations de couleur, qu'elles ne sont ni constantes, ni fonction de la magnitude seule. Nous partageons cette manière de voir.

Nous avons fait une tentative de détermination pratique des corrections à appliquer aux observations en ne perdant pas de vue que le nombre considérable et croissant des observations doit faire rejeter les procédés qui ne réuniraient pas la double condition d'être d'une application simple et rapide. Nous croyons aussi qu'il faut placer les observateurs qui cherchent à déterminer leurs erreurs systématiques dans leurs conditions de travail habituelles.

Nous avons été conduits à appliquer ainsi la méthode suivante :

On communique à l'observateur les magnitudes d'un certain nombre d'étoiles de la séquence polaire, dont l'indice de couleur est aussi petit que possible, et que l'on a cherché à répartir de façon à ce que par leur position et l'intervalle de l'échelle de leurs magnitudes, elles puissent servir d'étoiles de comparaison pour déterminer les magnitudes d'étoiles choisies parmi celles dont l'indice de couleur est au contraire aussi grand que possible.

(¹) Cf. Hagen, *Die veränderlichen Sterne*, chap. VI. — Seares, *Transact. Intern. Astr. Union*, **11**, 238 (1925). — Grouiller, *Bull. Observ. Lyon*, mai 1926. — Danjon, *Annales Obs. Strasbourg*, **2**, fasc. 1 (1928).

L'A. F. O. E. V. met à la disposition de ses membres des cartes de la séquence polaire dressées selon ses méthodes bien connues. On donne (2) les étoiles suivantes comme étoiles de comparaison :

Désignation	Magnitude	Indice de couleur	Désignation	Magnitude	Indice de couleur
1	4,37	0,03	10	9,06	0,05
2	5,28	— 0,04	11	9,56	0,21
4	5,84	0,07	13	10,37	0,15
5	6,45	0,01	14	10,56	0,36
7	7,55	— 0,17	15	10,88	0,39
8	8,13	0,19	17	11,30	0,58
9	8,83	0,10			

et on demande d'estimer l'éclat des étoiles 1*r*, 3, 2*s*, 3*s*, 2*r*, 6, 3*r*, 4*r*, 5*r*, 8*r*, 6*r*, 12, 4*s*, 16, 7*r*, 6*s*, 5*s*.

Il y aura lieu, en général, de s'en tenir au dixième de magnitude. La méthode présente l'avantage de pouvoir être appliquée à n'importe quelle époque de l'année ; il peut y avoir avantage à la réappliquer à six mois d'intervalle de façon à réobserver le même champ après rotation de 180°. Pour un observateur sédentaire, l'absorption sélective de l'atmosphère n'intervient pas, vu la faible différence de hauteur des étoiles du champ.

M. Dermul a entrepris une première série d'observations de ce genre, qui lui ont donné les résultats qui figurent dans le tableau suivant dans lequel les résultats des observations sont donnés dans la forme adoptée par l'A. F. O. E. V. ; nous admettons que l'erreur moyenne des observation de M. Dermul est de l'ordre de 0 m. 08, soit une précision un peu supérieure à celle qu'on accorde en moyenne ; on a effectué les réductions au 0 m. 01 pour éviter l'accumulation des erreurs, mais on n'accordera bien entendu qu'une valeur de calcul au dernier chiffre de droite.

Observations de la séquence polaire

Etoiles	Date	Heure	Comparaisons	Magn.	Instr.	Remarques
	1927					
(1*r*)	février 11	$10^h 5^m$	(2) 2 (1*r*) 5 (4)	5,42	Jum	Forte lune
	23	8 15	(2) 1 (1*r*) 5 (4)	5,[illegible]7	—	
(3)	23	8 20	(2) 3 (3) 3 (4)	5,56	—	
	27	8 20	(2) 4 (3) 2 (4)	5,65	—	
	Mars 16	10 20	(2) 4 (3) 2 (4)	5,65	—	Très forte lune
	21	8 35	(2) 4 (3) 2 (4)	5,65	—	

(2) D'après *Handbook B. A. A.* for 1926,

Etoiles	Date	Heure	Comparaisons	Magn.	Instr.	Remarques
	1927					
(2*s*)	Févr. 13	7 40	(4) 3 (2*s*) 5 (5)	6,07	Cherch.	Très forte Lune
	23	8 30	(4) 2 (2*s*) 5 (5)	6,01	Jum.	
	Mars 16	10 20	(4) 4 (2*s*) 2 (5)	6,25	T 45 ×	Très forte Lune
	17	7 10	(4) 5 (2*s*) 3 (5)	6,22	—	Forte Lune et crép.
	21	8 40	(4) 4 (2*s*) 2 (5)	6,25	—	
(3*s*)	Févr. 13	7 40	(4) 4 (3*s*) 4 (5)	6,14	Cherch.	Très forte Lune
	23	8 25	(4) 3 (3*s*) 3 (5)	6,15	Jum.	
(2*r*)	23	8 30	(2*r*) 1-2 (5) (4) 5 (2*r*)	6,31	Cherch. Jum.	
	27	8 25	(4) 4 (2*r*) 3 (5)	6,19	Jum. et cherch.	
	Mars 16	10 30	(4) 3 (2*r*) 3 (5)	6,14	T. 45 ×	Très forte Lune
	21	8 50	(4) 3 (2*r*) 3 (5)	6,14	—	Orangé
(6)	Févr. 12	9 45	(5) 6-7 (6) 4 (7)	7,13	—	Forte Lune
	23	8 40	(5) 5 (6) 3 (7)	7,14	—	
(3*r*)	13	8 20	(7) 2 (3*r*) 5 (8)	7,71	—	Très forte Lune
	23	8 50	(7) 3 (3*r*) 3 (8)	7,84	—	
	28	7 10	(7) 2 (3*r*) (3*r*) 5 (8)	7,71	— Cherch.	
	Mars 16	10 40	(7) 1 (3*r*) 5 (8)	7,65	T. 45 ×	Très forte Lune
	17	7 15	(7) 3 (3*r*) 4 (8)	7,80	—	Orangé
	21	8 55	(7) 3 (3*r*) 5 (8)	7,77	—	Forte Lune
(4*r*)	Févr. 23	8 55	(8) 4 (4*r*) 2 (9)	8,60	—	
	28	7 5	(8) 5 (4*r*) 2 (9)	8,63	—	
	Mars 16	10 35	(8) 5 (4*r*) 2 (9)	8,63	—	Très forte Lune
	21	9 0	(8) 4 (4*r*) 2 (9)	8,60	—	
(6*r*)	Févr. 11	10 30	(10) 3 (6*r*) 2 (11)	9,36	—	Forte Lune
	23	8 55	(10) 3 (6*r*) 3 (11)	9,31		
	Mars 16	10 50	(10) 2 (6*r*) 3 (11)	9,26	—	Très forte Lune
	17	7 0	(10) 4 (6*r*) 3 (11)	9,35	—	Forte Lune et crép.
	21	9 0	(10) 3 (6*r*) 4 (11)	9,28	—	
(12)	Févr. 12	8 15	(11) 2 (12) 5 (13)	9,79	—	Forte Lune
	23	9 0	(11) 3 (12) 5 (13)	9,86	—	
(4*s*)	Janv. 27	9 50	(11) 3 (4*s*) 6-7 (13)	9,82	T. 45 ×	
	Févr. 12	8 15	(11) 3 (4*s*) 4 (13)	9,91	—	Forte Lune
	23	8 55	(11) 3 (4*s*) 5 (13)	9,86	—	
(16)	Févr. 12	9 15	(16) 2 (17)	11,10	T. 117 ×	Forte Lune
	23	9 15	(15) 3 (16) 3 (17)	11,09	T. 45 ×	

Etoiles	Date	Heure	Comparaisons	Magn.	Instr.	Remarques
(7r)	Févr. 12	8 20	(11) 4 (7r) 2 (13)	10,14	T. 45 ×	Forte Lune
	23	9 15	(11) 5 (7r) 3 (13)	10,07	—	
	Mars 16	10 55	(11) 5 (7r) 3 (13)	10,07	—	Forte Lune
	21	9 0	(11) 5 (7r) 3 (13)	10,07	—	
(8r)	Févr. 23	9 20	(14) 1 (8r) 3 (15)	10,64	—	
	28	7 20	(13) 1 (8r) 1 (14)	10,46	T. 70 ×	
	Mars 16	10 55	(13) 2 (8r) 1 (14)	10,50	—	Forte Lune
	21	9 5	(13) 2 (8r) 1 (14)	10,50	T. 45 ×	
(6s)	Janv. 27	10 0	(14) 3 (6s) 1 (15)	10,80	—	
	Févr. 12	8 30	(14) 2 (6s)	10,76	T. 70 ×	Forte Lune
	23	9 20	(14) 2 (6s) 2 (15)	10,72	T. 45 ×	
(5s)	Févr. 12	8 20	(11) 3 (5s) 4 (13)	9,91	—	Forte Lune
	23	9 15	(11) 3 (5s) 3 (13)	9,96	—	

Les instruments désignés par les symboles : Jum., Cherch., T., sont respectivement :

Jum. : Jumelle 50 mm., gross. 2 1/2 ×

Cherch. : Chercheur 80 mm., gross. 15 ×

T. : Télescope newtonien par Vincart, 200 mm., gross. 45, 70, 117.

Interprétation des observations :

Pour permettre des conclusions générales, il serait nécessaire de disposer d'une dizaine, au moins, de séries de ce genre, établies par des observateurs différents. Quoi qu'il en soit, les résultats qui précèdent ont été interprétés comme il est dit ci-après :

Si E_{pv} et E_{pg} sont les éclats photovisuel et photographique d'une étoile, m_{pv} et m_{pg} les magnitudes correspondantes, on admet généralement que l'on peut écrire [3]

$$E_{pv} = C_* \int_{0,45}^{0,68} f(\lambda, T)\, f\lambda\, p\lambda \,.\, d\lambda = 2{,}512^{-m_{pv}}$$

$$E_{pg} = C'_* \int_{0,36}^{0,48} f(\lambda, T)\, g\lambda\, p\lambda \,.\, d\lambda = 2{,}512^{-m_{pg}}$$

T est la température de couleur, λ la longueur d'onde, $f\lambda$, $g\lambda$, $p\lambda$ sont des coefficients.

Admettons en plus que les éclats et les magnitudes varieraient d'une manière continue si l'on modifiait d'une manière continue et suivant une certaine loi les limites d'intégration [4].

(3) Cf. *Bull. Observat. Lyon*, févr. 1927.

(4) Ceci revient donc à ne pas tenir compte des bandes d'absorption.

On peut considérer que l'un de ces éclats, qui ne doit pas être nécessairement compris entre E_{pv} et E_{pg}, est celui qui provoque chez l'observateur la sensation d'une magnitude visuelle m_v.

Nous désignons sous le nom de « correction de couleur » un coefficient K tel que l'observateur qui détermine la magnitude visuelle m_v d'une étoile d'indice de couleur I en s'aidant de deux étoiles de comparaison de magnitudes photovisuelles m_n et m_{n+1} et *d'indice de couleur théoriquement nuls*, trouve

$$m_v = m_{pv} + \text{K I} = m_n + a$$
$$m_v = m_{pv} + \text{K I} = m_{n+1} - b.$$

Nous faisons l'hypothèse simplificatrice que le coefficient K est invariable d'un jour à l'autre et non influencé par la fatigue. Il peut être fonction de la magnitude de l'étoile, et, pour cette raison, pourrait être affecté d'un indice ; la discussion des observations montrera quelle est l'attitude à adopter à cet égard.

Il résulte de ce qui vient d'être dit, que si les étoiles de comparaison dont les magnitudes photovisuelles sont m_n et m_{n+1} avaient des indices de couleur I_n et I_{n+1} l'observateur appellerait m_n et m_{n+1} des magnitudes qu'il percevrait en réalité comme $m_n + \text{K}\, I_n$ et $m_{n+1} + \text{K}\, I_{n+1}$.

En appelant K « correction de couleur », nous évitons l'emploi restrictif de l'expression « équation de couleur ».

I. — *Interprétation des observations effectuées à l'aide de la jumelle et du chercheur*

Etoiles	Magnitudes adoptées	Magnitudes photovis.	Indices de couleur
(1*r*)	5,40	5,09	1,60
(3)	5,63	5,56	0,22
(2*s*)	6,04	6,30	0,17
(3*s*)	6,15	6,35	0,29
(2*r*)	6,25	6,32	1,61

Etoiles de comparaison : 1, 2, 4, 5 ; I négligeables.

L'étoile (1*r*) fait assigner à K la valeur 0,2.

Ce coefficient paraît très bien convenir pour représenter la magnitude trouvée pour (3). Il donne, si on l'applique à (2*s*), (3*s*) et (2*r*), une configuration identique à celle fournie par M. Dermul, les magnitudes de celui-ci étant trop faibles de 0,32 en moyenne par rapport à celles qu'on s'attendrait à lui voir trouver.

L'étoile de comparaison (5) est excellente au point de vue de l'indice de coloration, mais il semble résulter de ce qui précède que sa proximité

de (1*s*) a pour effet de faire paraître sa magnitude (6,45) comme augmentée de 0,22 (c'est-à-dire éclat moindre, magnitude 6,67). Cette manière de voir est confirmée par le fait que la magnitude de (2*s*) trouvée à l'aide du télescope est 6,24, d'après trois observations bien concordantes. [Lorsque la distance angulaire apparente (5) – (1*s*, augmente, (5) paraît plus brillante et le triplet (2*s*), (3*s*) et (2*r*) est noté comme moins brillant par rapport à (5).]

II. — *Interprétation des observations télescopiques*

Remarquons d'emblée que les trois oculaires utilisés donnent des résultats concordants. On n'utilisera pas l'observation de (2*r*).

Etoiles	Magnitudes adoptées	Magnitudes photovis.	Indices de couleur	Etoiles	Magnitudes adoptées	Magnitudes photovis.	Indices de couleur
(6)	7,14	7,06	0,06	(16)	11,10	11,22	0,36
(3*r*)	7,75	7,57	1,39	(7*r*)	10,09	9,87	1,09
(4*r*)	8,61	8,27	0,91	(8*r*)	10,52	10,46	0,98
(6*r*)	9,31	9,24	1,29	(6*s*)	10,76	10,72	0,64
(12)	9,83	9,77	0,31	(5*s*)	9,93	10,06	1,01
(4*s*)	9,86	9,83	0,48				

Il est regrettable que la magnitude de (5*r*) n'ait pas été déterminée. Les indices de coloration des étoiles de comparaison diffèrent de plusieurs dixièmes de magnitude. Nous en tiendrons compte dans la discussion des résultats.

Examinons le cas de (16) par exemple. On utilise (15) et (17) comme étoiles de comparaison. Les indices de coloration de (15) et (17) sont respectivement 0,39 et 0,58.

Admettons que M. Dermul, par suite de la correction de couleur, ait vu (17) de magnitude 11,42, résultant de la magnitude photovisuelle et de K = 0,2. Il verrait (15) de magnitude 10,96. Il désignera la magnitude 11,42 par 11,30, qu'on lui fait connaître, et 10,96 par 10,88 pour la même raison.

La comparaison (15) 3 (16) 3 (17) fait voir l'étoile d'éclat 11,18 et l'observateur l'estime de magnitude 11,10.

On voit que les anomalies relevées pour (16) et (5*s*) peuvent être expliquées de cette façon, sans devoir diminuer la précision de 0,08 magn. accordée aux observations de M. Dermul. Ces discussions de détail pourraient être continuées, mais prendraient trop de place. On voit la marche à suivre.

Ces observations confirment en moyenne le coefficient 0,2. Des observations plus nombreuses permettraient peut-être de montrer qu'en passant des étoiles de septième magnitude à celles de la douzième, le coefficient décroît de 0,2 à 0,1.

LA STANDARDISATION DES PLAQUES PHOTOGRAPHIQUES EN PHOTOMÉTRIE SPECTRALE

par Paul BOURGEOIS,

Assistant à l'Observatoire royal de Belgique

La photométrie spectrale prend de plus en plus d'importance en Astrophysique, soit qu'il s'agisse de la détermination des intensités respectives des raies ou de l'étude de leur contour dans les spectres stellaires, soit qu'il s'agisse de la détermination de gradients de couleur. A chaque problème particulier doit correspondre une technique spéciale ; nous ne nous occuperons ici que de la détermination de gradients de couleur d'étoiles par rapport à d'autres étoiles prises comme étalons. Le problème tel que nous l'envisageons est entièrement différentiel, il revient à déterminer sur des plaques prises au prisme objectif, la différence de magnitude entre deux étoiles pour une série de longueurs d'onde bien déterminées.

Suivant George R. Harrison (1) nous appelons *calibration* la détermination de la courbe caractéristique d'une émulsion pour une longueur d'onde déterminée et *standardisation* la détermination du changement de la courbe caractéristique avec la longueur d'onde.

Les variations fort différentes du facteur de contraste avec la longueur d'onde suivant que l'on emploie des plaques ordinaires, ortochromatiques ou panchromatiques (2) obligent à traiter le problème de la standardisation de manière diverse suivant le type de plaque utilisé.

Il convient, dès le début, de considérer (3) que lorsque les différences de parallélisme entre les courbes de calibration seront de l'ordre de grandeur des erreurs accidentelles des points des différentes courbes, il y aura toujours intérêt à utiliser une courbe moyenne pour toute l'étendue du spectre étudié.

Les méthodes suivantes sont bien connues :

A. — *Standardisation par observations astronomiques*

1° *Faire varier* l'intensité de l'image d'une étoile au moyen de diaphragmes appropriés.

La méthode (4) consiste à placer devant le prisme objectif un diaphragme percé de quatre trous circulaires symétriquement disposés par rapport au centre de l'objectif et à faire avant de commencer la pose, quatre poses préliminaires de même durée sur une étoile bien connue au

point de vue photométrique, en démasquant successivement une, deux, trois et les quatre ouvertures.

Un grand danger que l'on peut parer en utilisant toujours, simultanément, les quatre ouvertures, changeant simplement leur diamètre, consiste en la dissymétrie du système, qui pourrait donner une variation de l'intensité de l'image de l'étoile différente de celle prévue. Un autre danger, beaucoup plus grave du fait qu'il échappe à tout contrôle, peut être dû au changement de la transparence de l'air pendant les différentes poses. La méthode suivante, variante de celle-ci, évite entièrement ce danger.

2° *Photographier* un champ d'étoiles de même type spectral et de magnitudes différentes.

Cette méthode ([5]), qui implique que les étoiles utilisées présentent des distributions d'énergie semblables, a été employée heureusement et dans certains cas elle peut permettre l'utilisation au point de vue photométrie spectrale de plaques prises anciennement et non standardisées ([6]).

Ces deux méthodes empiètent sur le temps d'observation ce qui est un inconvénient pour nos climats peu favorisés.

3° *Ajouter* un réseau en travers du prisme.

La méthode ([7]) est une transposition de celle de Hertzsprung. Elle donne un nombre restreint de points des courbes de calibration et la courbure des spectres du premier ordre peut être cause d'erreurs. La puissance de l'instrument en tout cas est diminuée et dans le cas d'étoiles faibles on risque dans certaines régions de voir les spectres du premier ordre se recouvrir.

B. — *Standardisation au laboratoire*

1° *Utiliser* un sensitomètre à tubes.

Le sensitomètre à tubes généralement employé ([8]) est constitué par une boîte comportant toute une série de tubes de même diamètre, au travers desquels les rayons d'une source lumineuse viennent impressionner la plaque suivant des plages de même surface. Les rayons lumineux arrivent dans les tubes par des ouvertures circulaires de diamètres tels, que d'un tube à l'autre l'intensité lumineuse soit dans des proportions bien définies ; des diaphragmes, à l'intérieur des tubes, empêchent toute réflexion de la lumière. Cette méthode est parfaite en lumière monochromatique. En général, on utilise comme source lumineuse le rayonnement d'une lampe à incandescence et l'on obtient une courbe caractéristique moyenne. Ce procédé n'est pas à proprement parler une standardisation.

A la suite de conversations avec M. Otto Struve du Yerkes Observatory, je me suis attaché à voir s'il ne serait pas possible, étant donné un problème déterminé (en l'occurrence celui de la détermination de gradients de couleur) une émulsion déterminée et une lampe bien connue quant au rayonnement, d'obtenir, à partir de la courbe caractéristique moyenne ainsi obtenue, les diverses courbes de calibration nécessaires à

la standardisation. La question revenait donc à standardiser les plaques, puis à les exposer au sensitomètre et à mesurer les écarts entre la courbe caractéristique moyenne donnée par le sensitomètre et les courbes de calibration. Les plaques utilisées furent des Eastman 40 ayant leur sensibilité maximum dans le bleu (4.800 Å).

Pour réaliser la standardisation, nous avons eu recours à un spectrographe donnant une dispersion comparable à celle utilisée lors des observations et les variations d'intensité lumineuse dans les rapports : 1, 2, 4 et 8 furent obtenues en plaçant des écrans devant la lampe étalon servant de source lumineuse. Ces écrans réalisés photographiquement présentaient 72 plages transparentes circulaires de diamètre différent suivant les écrans ; l'écran laissant passer la totalité de la lumière de la source étant constitué par une plaque photographique de même émulsion, traitée de même façon que les autres. Ces écrans furent, au préalable, dûment étalonnés. Les mesures furent effectuées sur des microphotogrammes obtenus au microphotomètre enregistreur à pile thermo-électrique de l'Observatoire Yerkes. La courbe donnant les variations du facteur de contraste avec la longueur d'onde, apparut semblable à celle donnée par Ross [9] mais les différences de parallélisme entre les différentes courbes de calibration et la courbe moyenne donnée par le sensitomètre furent de l'ordre de grandeur des erreurs de mesure pour la région utilisée (4.000-4.800 Å). Il valait donc mieux se servir directement de la courbe moyenne du sensitomètre. Dans un cas pareil, la méthode apparaît certes comme de loin la plus commode. Toutefois, elle peut permettre plus. En utilisant une gamme d'écrans d'absorption bien étudiée, elle est susceptible de fournir, non plus une courbe caractéristique moyenne, mais aussi des courbes caractéristiques se rapportant à des régions bien déterminées du spectre. Si l'on n'a pas réellement là une standardisation, on pourra toutefois se rendre compte de la façon dont l'émulsion se comporte d'une manière générale et éviter des erreurs qui, autrement, pourraient passer inaperçues. La méthode de standardisation utilisée au cours de cette étude : spectrographe et écrans, est une variante de la méthode suivante qui, étant donné le problème que nous nous imposons, est certes la meilleure lorsque l'on peut disposer de l'outillage nécessaire.

2° *Utiliser* un spectrographe et un coin gris neutre.

On place devant la fente du spectrographe un coin, généralement en escalier qui donnera pour chaque longueur d'onde tous les éléments nécessaires à la calibration. Actuellement, il existe des coins en escalier constitués par un support de quartz sur lequel on a projeté de minces couches de platine de différentes épaisseurs qui sont pratiquement neutres [10]. On peut concevoir toute une série de variantes à cette méthode, mais en général elles sont plus longues à appliquer et présentent des causes d'erreur. On peut toutefois objecter à la méthode que la standardisation n'est pas réalisée dans les conditions mêmes de l'observation.

Tout récemment, voulant se dégager de ce danger, on a étendu [11]

au prisme objectif la méthode consistant à se servir pour la standardisation du spectrographe même servant à l'observation. Au moment de l'observation, on fait avec la lunette munie de son prisme objectif une pose sur des étoiles artificielles constituées par des trous de même surface percés dans une plaque uniformément éclairée par une lampe étalon ; la différence de magnitude d'une étoile artificielle à l'autre est réalisée par l'interposition d'un coin gris neutre en escalier.

Nous ne croyons toutefois pas, dans le cas spécial qui nous intéresse, que ce fait soit susceptible d'introduire des erreurs considérables dans les résultats. Nous les estimons du même ordre que celles dues au fait que dans un cas la pose est intermittente et dans l'autre, continue.

---

(1) George R. HARRISON, *Journal of the Optical Society of America* (nov. 1929).

(2) F. E. ROSS, *The Physics of the Developed Photographic Image* (1924). Georges MOREAU, *La sensitométrie photographique et ses applications* (1928).

(3) *Harvard Circular*, 301.

(4) *Harvard Circular*, 339.

(5) *Harvard Circular*, 301 et 309.

(6) *Harvard Circular*, 339.

(7) W. M. H. GREAVES et C. R. DAVIDSON, *Monthly Notices*, 86, n° 1.

(8) *Lick Observatory Bulletin*, 375.

(9) F. E. ROSS, *loc. cit.*

(10) A. PANNEKOEK et M. G. J. MINNAERT, *Verhandelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam*, Afdeeling Natuurkunde (Eerste Sectie), Deel XIII, n° 5.

(11) H. KIENLE, *Zeitschrift für Astrophysik*, **1**, 1.

SUR LES NÉBULEUSES SPIRALES

par E. MERLIN,

Professeur à l'Université de Gand

Suivant Arrhenius (*L'évolution des mondes*, Paris, 1910), les nébuleuses spirales auraient pour origine le choc de deux soleils; d'où naîtraient des jets spiraloïdes, dont il ne spécifie d'ailleurs pas la forme exacte. Ce double soleil s'alimenterait ensuite de soleils nouveaux pour engendrer la nébuleuse. Nous aurions donc des nébuleuses spirales de toute dimension et, quelle que soit la manière dont les soleils nouveaux seraient captés, la forme spiraloïde se conserverait. Ce n'est ni ce qu'on observe ni ce qu'on justifie.

Dans *The capture theory of cosmical evolution* (1910), au chapitre XIX, See imagine que les nébuleuses spirales sont engendrées par la réunion de deux nuages cosmiques, allant à la rencontre l'un de l'autre. Les spirales naîtraient autour d'une condensation engendrée par les points de rencontre. On n'y trouve aucune démonstration de la nature exacte des spirales. En outre, les deux nuages cosmiques, qui se sont rencontrés par hasard, ne sont pas égaux, en général. Par suite, les nébuleuses spirales devraient être dissymétriques. Cette seconde hypothèse ne satisfait pas mieux l'esprit que la première.

D'après les mesures récentes de Reynolds (¹), H. Groot (²), von der Pahlen (³) les courbes qui apparaissent dans les nébuleuses spirales, vues perpendiculairement à leur plan moyen, sont indubitablement des spirales équiangles, en première approximation.

Aussi J.-H. Jeans essaye-t-il de justifier la persistance des spirales par un mouvement transformant une spirale équiangle en une autre. Il trouve que le mouvement devrait être produit par des forces qui nous sont inconnues (⁴).

Dans l'espoir d'échapper à cette conclusion, E.-W. Brown (⁵) regarde les spirales comme des enveloppes d'orbites décrites sous l'action de la gravitation. Le long de ces orbites, la matière ne deviendrait visible que là où elle est fortement concentrée, c'est-à-dire au voisinage des points de

(¹) *M. N.*, **85**, 1014 (1925).
(²) *M. N.*, **85**, 535, (1925) et **86**, 146 (1926).
(³) *A. N.*, 4503, 250 (1911).
(⁴) *M. N.*, **84** (1923) et *Astronomy and Cosmogony* (1929).
(⁵) *Astroph. J.*, **61**, 97 (1925).

contact des orbites avec leurs enveloppes. Mais la loi de force capable de donner naissance à des orbites admettant pour enveloppes des spirales équiangles, est fort compliquée et exige une distribution de matière des plus artificielles.

Aussi Jeans considère-t-il l'explication des spirales comme l'un des problèmes les plus embarrassants et les plus déconcertants, à la fois, de la cosmogonie. Et pourtant ajoute-t-il, c'est là le premier problème à résoudre au sujet des nébuleuses spirales. Il en arrive à soupçonner l'existence d'un type de forces qui nous est entièrement inconnu, forces qui dénoteraient des propriétés métriques nouvelles et inattendues de l'espace. Il va même jusqu'à conjecturer que les centres des nébuleuses seraient des points singuliers, où la matière serait déversée dans notre univers par quelque flux trahissant l'existence d'une dimension qui nous est étrangère. Pour un habitant de notre univers, la matière semblerait continuellement créée en ces points.

Les mémoires fort ingénieux de E.-W. Brown et de J.-H. Jeans présupposent l'existence de spirales équiangles et en recherchent des conséquences possibles plutôt qu'ils ne les déduisent de quelque hypothèse générale.

Nous nous sommes placés à un tout autre point de vue. D'hypothèses très larges, nous avons tenté de tirer le caractère spiral des nébuleuses. La généralité même de celui-ci implique sa permanence. L'explication cherchée doit donc, vraisemblablement, se trouver dans les premiers stades de la nébuleuse, alors que celle-ci, que l'on reconnaît être une génératrice d'étoiles, n'en contenait encore aucune et pouvait être assimilée à un fluide parfait.

Un autre caractère général et permanent est la rotation de la nébuleuse autour d'un axe fixe. Les vitesses angulaires sont d'ailleurs variables avec la distance à l'axe, et peut-être avec le temps, mais constantes le long d'un parallèle. Elles varient aussi, sans doute, avec la position du centre du parallèle.

Le fluide est soumis à des forces. Nous supposerons que ces forces, rapportées à l'unité de masse, dérivent d'un potentiel.

En chaque point du fluide existe une densité ϱ, un potentiel V et une pression p. Admettons qu'une loi les lie, qui soit indépendante du point dans l'espace, mais qui varie peut-être au cours du temps. Sans nul doute, les surfaces de densité constante ne sont pas de révolution autour de l'axe. Nous trouvons que la densité ϱ est une fonction arbitraire de $r^4 \omega^2 e^{2a\theta}$ [6], tandis que la vitesse angulaire ω est donnée par l'équation :

$$\omega = \frac{1}{\chi_1(z, r^2) + at},$$

[6] Nous avons adopté un système de coordonnées cylindriques dont l'axe Oz coïncide avec l'axe de rotation.

χ_1 étant une fonction arbitraire et a une constante. On voit que le fluide présente des stries d'égale densité et d'égale vitesse angulaire, qui se projettent dans le plan r, θ, suivant des spirales équiangles. L'angle i formé par le rayon vecteur et la tangente à la strie est donné par la formule :

$$\operatorname{tg} i = -\frac{2}{a} ;$$

il est donc constant pour la nébuleuse, à la fois dans l'espace et dans le temps.

Certains points de la nébuleuse présenteraient des mouvements les écartant de leur parallèle. Ces mouvements ne s'effectueraient d'ailleurs pas tous dans le même sens le long du rayon r. Ils sont petits et moins bien déterminés que la vitesse de rotation. Peut-être n'est-on pas sûr de l'identification des points dans ce déplacement. Ceci ne serait pas étonnant, car on trouve, et sur les spirales et ailleurs, des points de même densité et par suite de même aspect. Remarquons aussi que, à la longue, des perturbations dans le mouvement primitif ont pu se produire, qui justifieraient peut-être les mouvements longitudinaux irréguliers et petits. Le mouvement de rotation, lui, est indubitable (VAN MAANEN, mesures de M. 33, 81, 51, 63, 94, 101, N. G. C. 2403) et existe vraisemblablement pour tous les astres. C'est ce mouvement général que nous avons retenu. Il semble que la raison profonde du caractère spiral serait dans l'existence d'une loi liant p, V, ϱ.

SUR L'ÉQUATION DE KEPLER

par E. MERLIN,

Professeur à l'Université de Gand

Il existe bien des procédés de résolution de l'équation de Kepler

$$u - e \sin u = \zeta$$

où $0 < e < 1$ et ζ sont données.

La formule de Lagrange donne pour u le développement :

$$u = \zeta + e \sin \zeta + \frac{e^2}{1 \cdot 2} \frac{d}{d\zeta} (\sin^2 \zeta) + \cdots + \frac{e^n}{n\,!} \frac{d^{n-1}}{d\zeta^{n-1}} (\sin^n \zeta) + \cdots$$

Laplace a montré que la série est convergente, si $e < 0{,}662743\ldots$ Pour des valeurs de e supérieures, elle ne fournit plus u. Elle n'est donc pas le procédé naturel de résolution de l'équation.

Levi Civita a établi que u est donnée par une série procédant suivant les puissances croissantes, entières et positives de

$$\eta = \frac{e\,\mathrm{E}^{\sqrt{1-e^2}}}{1 + \sqrt{1 - e^2}},$$

E désignant la base des logarithmes népériens, ce pour toutes les valeurs de e. Mais les calculs sont laborieux.

Des méthodes graphiques ou analytiques fournissent rapidement une valeur de u plus ou moins approchée. La plus expéditive, c'est-à-dire celle qui conduit le plus rapidement à une valeur déjà bien approchée, est due à Encke. Elle est traduite par le tableau :

$$\operatorname{tg} x = \frac{e \sin \zeta}{1 - e \cos \zeta}$$

$$y = \sin x$$

$$u = y - \frac{y^4}{6} \operatorname{cotg} \zeta + \varepsilon$$

L'approximation peut être poursuivie, mais les calculs sont longs et l'on ne possède pas de limite supérieure des divers restes ε.

Montrons comment, u étant une valeur approchée, le calcul peut se continuer par approximations successives et comment une limite supérieure du reste peut être calculée.

On calculera l'expression

$$u_1 - e \sin u_1 - \zeta ,$$

dont la valeur absolue peut être supposée comprise entre les deux puissances entières e^{n+1} et e^n, de sorte que l'on peut poser

$$u_1 = \zeta + e \sin u_1 + \theta_1 e^n = u_2 + \theta_1 e^n,$$

θ_1 étant <1. On calculera ensuite

$$(1) \quad \begin{cases} u_3 = \zeta + e \sin u_2, \\ u_1 = \zeta + e \sin u_3, \\ \dots\dots\dots \\ u_{p+1} \zeta + e \sin u_p. \end{cases}$$

On a

$$u_3 - u_2 = \theta_2 \; e^{n+1},$$

$$u_{p+1} - u_p = \theta_p \, e^{n+p-1} ;$$

les θ_i étant en valeur absolue < 1.

On écrit :

$$\begin{aligned} u_{p+1} &= u_2 + (u_3 - u_2) + \dots + (u_{p+1} - u_p) \\ &= u_2 + \theta_2 e^{n+1} + \dots + \theta_p \, e^{n+p-1}. \end{aligned}$$

Quand p croît indéfiniment u_{p+1} tend vers une limite u ; u est racine de l'équation de Kepler, ainsi qu'on le voit en passant à la limite dans la dernière équation (1). D'où l'on conclut que

$$u = u_{p+1} + \theta \frac{e^{n+p}}{1 - e},$$

où $|\theta| < 1$, quelle que soit e comprise entre zéro et un.

LE CHOIX DES CONSTANTES GÉOMÉTRIQUES DES ORBITES PLANÉTAIRES ET LE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

par M. ALLIAUME,

Professeur à l'Université de Louvain

---

1. — L'établissement d'une éphéméride planétaire comporte le calcul des coordonnées héliocentriques équatoriales (x, y, z) de l'astre en fonction du temps par l'intermédiaire de l'anomalie excentrique et au moyen des valeurs numériques attribuées aux cinq constantes géométriques et à la constante cinématique de l'orbite. Dans ce calcul, on utilise le plus souvent les formules de Gauss

$$x=r\,\mathbf{a}\,\sin(A+v),$$
$$y=r\,\mathbf{b}\,\sin(B+v),$$
$$z=r\,\mathbf{c}\,\sin(C+v),$$

dans lesquelles les constantes **a**, **b**, **c**, A, B, C s'établissent au moyen de l'obliquité ε de l'équateur sur l'écliptique et de deux des constantes géométriques de l'orbite, à savoir l'inclinaison i de son plan sur celui de l'écliptique et la longitude Ω du nœud ascendant (¹); de plus r et v représentent respectivement le rayon vecteur héliocentrique et l'anomalie vraie de la planète, et ω sera l'angle de position du périhélie mesuré dans le plan de l'orbite, à partir du nœud ascendant, dans le sens du mouvement de la planète (²).

Les constantes de Gauss étant connues, il reste encore, dans chaque calcul de (x, y, z) pour un instant quelconque, à introduire dans les seconds membres les valeurs numériques des coordonnées polaires (r, v), obtenues séparément au moyen de l'anomalie excentrique E. L'élimination de r et de v au profit de E laisse des équations paramétriques explicites de la trajectoire planétaire, moyennant le paramètre E. Ces équations renferment les huit constantes **a**, **b**, **c**, A, B, C, a, e, dont les deux dernières sont le demi-grand axe et l'excentricité de l'orbite.

(¹) Ces formules supposent les constantes A, B, C définies comme dans la *Connaissance des temps* pour 1915, qui renferme les six constantes de Gauss pour les petites planètes 1 à 732, rapportées à l'équinoxe et à l'équateur moyen de 1920.0

Les constantes A, B, C sont parfois définies de façon qu'il faille écrire

$$x=r\mathbf{a}\,\sin\,(A+\omega+v),\ \ldots$$

avec la signification de ω qui va être rappelée dans le texte.

(²) Les notations adoptées ici sont celles qu'a préconisées l'Union astronomique internationale en son assemblée générale de Cambridge, juillet 1925. — P. Stroobant, *Notations et unités adoptées par l'Union astronomique internationale* (*Académie Roy. de Belg., Bull. Cl. Sciences* [1925] 609).

Ces huit constantes sont liées par les trois égalités

$$\mathbf{a}^2 \sin^2 A + \mathbf{b}^2 \sin^2 B + \mathbf{c}^2 \sin^2 C = 1,$$
$$\mathbf{a}^2 \cos^2 A + \mathbf{b}^2 \cos^2 B + \mathbf{c}^2 \cos^2 C = 1,$$
$$\mathbf{a}^2 \sin A \cos A + \mathbf{b}^2 \sin B \cos B + \mathbf{c}^2 \sin C \cos C = 0,$$

linéaires en $\mathbf{a}^2$, $\mathbf{b}^2$, $\mathbf{c}^2$.

La résolution de ces équations par rapport à ($\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$, $\mathbf{c}$), et la substitution de leurs racines dans les expressions de (x, y, z) en fonction des constantes de Gauss, laissent des équations paramétriques de l'orbite, écrites au moyen de cinq constantes indépendantes A, B, C, a, e, dont les trois premières ont ainsi pris la place des éléments Ω, i et ω.

2. — Les constantes de Gauss apparaissent au cours d'un changement des axes de coordonnées dans lequel on aboutit aux axes équatoriaux en partant d'un système dont l'axe des z est perpendiculaire au plan de l'orbite et dont l'axe des x appartient à la ligne des nœuds. C'est pourquoi les constantes de Gauss peuvent s'appeler les *constantes nodales* de l'orbite.

On peut aussi établir les équations paramétriques de l'orbite au moyen d'un changement des axes de coordonnées dans lequel on aboutit aux axes équatoriaux en partant d'un système dont l'axe des z est perpendiculaire au plan de l'orbite et dont l'axe des x est orienté vers le périhélie. Cette transformation fait apparaître des constantes plus avantageuses que les constantes nodales, et auxquelles on peut donner le nom de *constantes périhéliques*.

3. — Si (A_1, B_1, C_1) et (A_2, B_2, C_2) sont les cosinus directeurs de l'axe des x et de l'axe des y du système périhélique, unis par les trois relations

$$A_1^2 + B_1^2 + C_1^2 = 1,$$
$$A_2^2 + B_2^2 + C_2^2 = 1,$$
$$A_1 A_2 + B_1 B_2 + C_1 C_2 = 0,$$

à savoir

$$\begin{cases} A_1 = \cos\omega \cos\Omega - \sin\omega \sin i \sin\Omega, \\ B_1 = \cos\omega \sin\Omega \cos\varepsilon + \sin\omega \cos i \cos\Omega \cos\varepsilon - \sin\omega \sin i \sin\varepsilon, \\ C_1 = \cos\omega \sin\Omega \sin\varepsilon + \sin\omega \cos i \cos\Omega \sin\varepsilon + \sin\omega \sin i \cos\varepsilon, \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_2 = -\sin\omega \cos\Omega - \cos\omega \cos i \sin\Omega, \\ B_2 = -\sin\omega \sin\Omega \cos\varepsilon + \cos\omega \cos i \cos\Omega \cos\varepsilon - \cos\omega \sin i \sin\varepsilon, \\ C_2 = -\sin\omega \sin\Omega \sin\varepsilon + \cos\omega \cos i \cos\Omega \sin\varepsilon + \cos\omega \sin i \cos\varepsilon, \end{cases}$$

les coordonnées équatoriales de la planète sont, à un instant quelconque,

$$\begin{cases} x = r(A_1 \cos v + A_2 \sin v), \\ y = r(B_1 \cos v + B_2 \sin v), \\ z = r(C_1 \cos v + C_2 \sin v), \end{cases}$$

ou

$$\begin{cases} x = -a A_1 \sin\varphi + a(A_1 \cos E + A_2 \cos\varphi \sin E), \\ y = -a B_1 \sin\varphi + a(B_1 \cos E + B_2 \cos\varphi \sin E), \\ z = -a C_1 \sin\varphi + a(C_1 \cos E + C_2 \cos\varphi \sin E), \end{cases}$$

où on a écrit $\sin\varphi$ pour e.

En posant

$$A_1 = l \sin \alpha, \qquad A_2 \cos \varphi = l \cos \alpha, \qquad l > 0,$$
$$B_1 = m \sin \beta, \qquad B_2 \cos \varphi = m \cos \beta, \qquad n > 0,$$
$$C_1 = n \sin \gamma, \qquad C_2 \cos \varphi = n \cos \gamma, \qquad m > 0,$$

on introduit les constantes l, m, n, α, β, γ, satisfaisant aux trois relations

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 + \cos^2 \varphi,$$
$$l^2 \cos 2\alpha + m^2 \cos 2\beta + n^2 \cos 2\gamma = -\sin^2 \varphi,$$
$$l^2 \sin 2\alpha + m^2 \sin 2\beta + n^2 \sin 2\gamma = 0,$$

linéaires en l^2, m^2, n^2, et au moyen desquelles les coordonnées équatoriales de la planète s'écrivent

$$x = a\,l\,[\sin(\alpha + E) - \sin \varphi \sin \alpha],$$
$$y = a\,m[\sin(\beta + E) - \sin \varphi \sin \beta],$$
$$z = a\,n\,[\sin(\gamma + E) - \sin \varphi \sin \gamma].$$

4. — Enfin si on introduit des angles α', β', γ' satisfaisant aux égalités

$$\sin \alpha' = \sin \varphi \ \sin \alpha,$$
$$\sin \beta' = \sin \varphi \sin \beta,$$
$$\sin \gamma' = \sin \varphi \sin \gamma,$$

et si on définit les neuf constantes périhéliques

$$\lambda = 2\,a\,l, \qquad \frac{\alpha - \alpha'}{2} = \alpha_1, \qquad \frac{\alpha + \alpha'}{2} = \alpha_2,$$
$$\mu = 2\,am, \qquad \frac{\beta - \beta'}{2} = \beta_1, \qquad \frac{\beta + \beta'}{2} = \beta_2,$$
$$\nu = 2\,an, \qquad \frac{\gamma - \gamma'}{2} = \gamma_1, \qquad \frac{\gamma + \gamma'}{2} = \gamma_2,$$

on obtient les coordonnées équatoriales de la planète à l'instant correspondant à l'anomalie excentrique E sous la forme très simple

$$x = \lambda \sin\left(\frac{E}{2} + \alpha_1\right) \cos\left(\frac{E}{2} + \alpha_2\right),$$
$$y = \mu \sin\left(\frac{E}{2} + \beta_1\right) \cos\left(\frac{E}{2} + \beta_2\right),$$
$$z = \nu \sin\left(\frac{E}{2} + \gamma_1\right) \cos\left(\frac{E}{2} + \gamma_2\right).$$

5. — La simplicité de ces expressions n'est réelle que si l'on dispose des valeurs numériques des constantes périhéliques de la planète considérée. Or, il n'est pas très pénible de calculer ces valeurs numériques pour les planètes dont on possède déjà les constantes nodales. En effet, les constantes nodales **a**, **b**, **c**, A, B, C et les constantes périhéliques primitives

l, m, n, α, β, γ sont unies par six relations, faciles à résoudre par rapport à ces dernières constantes :

$$\left\{\begin{aligned} l^2 &= \mathfrak{a}^2(1-\sin^2\varphi\cos^2 A),\\ m^2 &= \mathfrak{b}^2(1-\sin^2\varphi\cos^2 B),\\ n^2 &= \mathfrak{c}^2(1-\sin^2\varphi\cos^2 C),\end{aligned}\right.$$

et

$$\left\{\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha &= \operatorname{séc}\varphi\operatorname{tg} A,\\ \operatorname{tg}\beta &= \operatorname{séc}\varphi\operatorname{tg} B,\\ \operatorname{tg}\gamma &= \operatorname{séc}\varphi\operatorname{tg} C,\end{aligned}\right.$$

les α, β, γ, devant être pris dans le même quadrant que A, B, C, respectivement. Les identités rencontrées ci-dessus permettent la vérification des calculs.

Les variations des constantes périhéliques sont liées d'une manière simple aux variations des éléments et des constantes nodales ; ainsi

$$\delta\log\lambda = \delta\log a + \frac{a^2\sin\varphi\cos A}{l^2}(\sin\varphi\sin A\,\delta A - \cos\varphi\cos A\,\delta\varphi)\cdot$$

Les expressions des variations des constantes périhéliques subissent d'importantes simplifications dans le cas particulier fréquent où il n'y a pas lieu de tenir compte de la variation de l'excentricité de l'orbite.

Le Laboratoire d'Astronomie et de Géodésie de l'Université de Louvain a entrepris le calcul des constantes périhéliques de toutes les planètes, et des variations de ces grandeurs, à partir des éléments orbitaux et des constantes nodales. Par exemple, à l'instant correspondant à l'anomalie excentrique E, et au moyen des éléments orbitaux rapportés à l'équinoxe et à l'équateur moyen de 1920, les coordonnées équatoriales de Cérès sont

$$x = [0{,}7354521]\sin\left(27^\circ50'1'',6 + \frac{E}{2}\right)\cos\left(211^\circ36'47'',0 + \frac{E}{2}\right),$$

$$y = [0{,}7003497]\sin\left(76^\circ8'23'',4 + \frac{E}{2}\right)\cos\left(78^\circ\,2'\,58''\,2 + \frac{E}{2}\right),$$

$$z = [0{,}4014337]\sin\left(62^\circ20'6'',4 + \frac{E}{2}\right)\cos\left(65^\circ47'13'',3 + \frac{E}{2}\right).$$

SUR LA DÉTERMINATION DES ORBITES PAR LA MÉTHODE DE LAPLACE

par G. BECQ,

Docteur en Sciences

Lorsqu'on détermine l'orbite elliptique d'une planète, que ce soit par la méthode de Laplace ou par celle de Gauss, on est conduit pour trouver la distance géocentrique de la planète, à l'instant t_2, à résoudre un système d'équations de la forme :

$$\left\{\begin{aligned} \rho_2 &= k - \frac{l}{r_2^3} \\ r_2^2 &= \rho_2^2 - 2\,R_2 \cos \Psi_2 \,.\, \rho_2 + R_2^2 \,. \end{aligned}\right.$$

Par l'élimination de ϱ_2, on obtient une équation du huitième degré en ϱ_2 ayant une racine nulle. Il reste donc, en dernière analyse, à résoudre une équation du septième degrée en ϱ_2. Nous allons montrer que, dans l'application de la méthode de Laplace, on peut obtenir ϱ_2 par une équation du deuxième degré seulement [1].

L'équation (1), dans le cas de la méthode de Laplace, s'écrit :

$$\rho = \frac{[AA'\,X]}{[AA'\,A'']}\left(\frac{1}{R^3} - \frac{1}{r^3}\right).$$

On a, de même :

$$\rho' = -\frac{[AA''X]}{2\,[AA'\,X]}\,\rho$$

$$\rho'' = -(AA'' + BB'' + CC'')\,\rho + \left(\frac{1}{R^3} - \frac{1}{r^3}\right)(AX + BY) + \left(\frac{1}{R^3} - \frac{1}{r^3}\right)\rho - \frac{\rho}{R^3}.$$

Les erreurs commises sur les dérivées premières et secondes des cos directeurs de la direction géocentrique de la planète sont respectivement du second ordre et du premier ordre par rapport aux intervalles d'observation : on s'en assure d'ailleurs immédiatement en conservant dans leurs expressions, le premier terme négligé.

$$A' = A'_0 - \frac{\Theta_1\ \Theta_3}{6}\,A'''$$

$$A'' = A''_0 - \frac{\Theta_1 - \Theta_3}{3}\,A'''.$$

(1) Nous croyons inutile de définir nos notations, celles-ci se comprenant d'elles-mêmes. De plus, les expressions qui sont fonctions du temps, et qui ne sont pas affectées d'indice, sont écrites pour l'instant t_2 d'observation.

Pour simplifier les écritures, nous poserons

$$\frac{1}{R^3} - \frac{1}{r^3} = u ,$$

et nous aurons ainsi :

$$\varrho = a\, u$$
$$\varrho' = b\, u$$
$$\varrho'' = c\, u + a\, u^2.$$

Nous avons d'autre part :

$$\rho_1 = \rho - \theta_3\, \rho' + \frac{\theta_3^{\ 2}}{2} \rho'' = (a - \theta_3\, b + \frac{\theta_3^{\ 2}}{2}\, c)\, u + \frac{\theta_3^{\ 2}}{2}\, a\, u^2$$

$$\rho_3 = \rho + \theta_1\, \rho' + \frac{\theta_1^{\ 2}}{2} \rho'' = (a + \theta\, b + \frac{\theta_1^{\ 2}}{2}\, c)\, u + \frac{\theta_1^{\ 2}}{2}\, a\, u^2$$

$$r_1^{\ 2} = r^2 - \theta_3\, (r^2)' + \frac{\theta_3^{\ 2}}{2} (r^2)'' = \rho^2 - \theta_3\, (\rho^2)' + \frac{\theta_3^{\ 2}}{2}\, (\rho^2)'' - 2\, R_1 \cos \Psi_1\, \rho_1 + R^2_{\ 1}$$

$$r_3^{\ 2} = r^2 + \theta_1\, (r^2)' + \frac{\theta_1^{\ 2}}{2} (r^2)'' = \rho^2 + \theta_1\, (\rho^2)' + \frac{\theta_1^{\ 2}}{2}\, (\rho^2)'' - 2\, R_3 \cos \Psi_3\, \rho_3 + R^2_{\ 3}$$

Nous pouvons mettre les expressions de r_1^2 et r_3^2 sous la forme :

$$(r^2 - \rho^2) - \theta_3\, [\, (r^2)' - (\rho^2)'] + \frac{\theta_3^{\ 2}}{2}\, (r^2)''$$
$$= - 2\, R_1 \cos \Psi_1\, [(a - \theta_3\, b + \frac{\theta_3^{\ 2}}{2} c)\, u + \frac{\theta_3^{\ 2}}{2}\, a\, u^2]$$
$$+ \theta_3^{\ 2}\, (b_2 + ac)\, u^2 + \theta_3^{\ 2}\, a^2\, u^3 + R_1^{\ 2}$$

$$(r^2 - \rho^2) + \theta_1\, [\, (r^2)' - (\rho^2)' \,] + \frac{\theta_1^{\ 2}}{2}\, (r^2)''$$
$$= - 2\, R_3 \cos \Psi_3\, [(a + \theta_1\, b + \frac{\theta_1^{\ 2}}{2}\, c)\, u + \frac{\theta_1^{\ 2}}{2}\, a\, u^2]$$
$$+ \theta_1^{\ 2}\, (b^2 + ac)\, u^2 + \theta_1^{\ 2}\, a^2\, u^3 + R_3^{\ 2}$$

Joignons-leur l'expression de r^2 :

$$(r^2 - \varrho^2) = -2\, R \cos \Psi\ \, a u + R^2$$

Nous avons maintenant un système d'équations d'où nous éliminerons les inconnues $(r^2 - \varrho^2)$ et $[(r^2)' - (\varrho^2)']$; nous obtenons l'équation finale :

$$\theta_2\, a^2\, u^3 - [\, a\, (R_1 \cos \Psi_1 .\, \theta_3 + R_3 \cos \Psi_3 .\, \theta_1) - (b^2 + ac)\, \theta_2\,]\, u^2$$
$$+ [\, 2\, a \,.\, \frac{1}{\theta_3}\, (R \cos \Psi - R_1 \cos \Psi_1) + 2\, a \,.\, \frac{1}{\theta_1}\, (R \cos \Psi - R_3 \cos \Psi_3)$$
$$+ 2b\, (R_1 \cos \Psi_1 - R_3 \cos \Psi_3) - c\, (R_1 \cos \Psi_1 \,.\, \theta_3 + R_3 \cos \Psi_3 \,.\, \theta_1)\,]\, u$$
$$- \frac{R^2 - R^2_{\ 1}}{\theta_3} - \frac{R^2 - R^2_{\ 3}}{\theta_1} = (r^2)''\, \frac{\theta_2}{2}$$

Mais

$$-\frac{R^2 - R^2_1}{\theta_3} - \frac{R^2 - R^2_3}{\theta_1} = (R^2)'' \frac{\theta_2}{2}$$

Remarquons que $(R^2)''$ est fonction de l'excentricité de la Terre, élément dont la valeur peut être considérée comme du premier ordre. Il en est de même de $(r^2)''$ en ce qui concerne la planète.

L'équation précédente peut se mettre sous la forme :

$$\theta_2 a^2 u^3 - m' u^2 + n' u + \frac{\theta_2}{2}[(R^2)'' - (r^2)''] = 0 ,$$

où le coefficient de chacun des termes en u est du premier ordre et où le dernier terme est du second ordre ; étant donné l'approximation à laquelle nous travaillons ici, nous pouvons donc ne pas tenir compte du dernier terme, et il reste ainsi à résoudre une équation de la forme :

$$u^3 - m u^2 + n u = 0$$

où $m = \frac{1}{\theta_2 a} (R_1 \cos \Psi_1 . \theta_3 + R_3 \cos \Psi_3 . \theta_1) - \frac{1}{a^2} (b^2 + ac)$

$$n = \frac{2}{\theta_2 a} \left[\frac{1}{\theta_3} (R \cos \Psi - R_1 \cos \Psi_1) + \frac{1}{\theta_1} (R \cos \Psi - R_3 \cos \Psi_3)\right]$$
$$+ \frac{2b}{\theta_2 a^2} (R_1 \cos \Psi_1 - R_3 \cos \Psi_3) - \frac{c}{\theta_2 a^2} (R_1 \cos \Psi_1 . \theta_3 + R_3 \cos \Psi_3 . \theta_1).$$

Cette équation admet une racine nulle.

On acceptera la racine qui a comme expression :

$$u = \frac{m + \sqrt{m^2 - 4n}}{2} .$$

On aura alors immédiatement ϱ, de même que ϱ' et ϱ'' dont la connaissance est nécessaire pour former les approximations successives.

SUR LA DÉTERMINATION DES DENSITÉS DANS LES AMAS GLOBULAIRES

par J. WARZÉE,

Assistant à l'Observatoire royal de Belgique

L'étude dynamique des amas globulaires repose essentiellement sur la connaissance de la loi de distribution des densités à l'intérieur de ces systèmes stellaires ; il est donc de la plus haute importance d'obtenir une représentation aussi exacte que possible de cette loi.

Les documents dont on dispose consistent en clichés, sur lesquels on a tracé des cercles dont le centre commun coïncide avec le centre de l'amas. On commence par dénombrer les étoiles dans chacun des anneaux, puis on applique une correction aux nombres obtenus, pour tenir compte du fait que les étoiles projetées sur le cliché, dans la région de l'amas, n'en font pas toutes partie. Certaines d'entre elles, en effet, sont la projection sur la plaque photographique, d'astres situés en dehors de l'amas, mais dans la direction de celui-ci par rapport à l'observateur.

Dans l'impossibilité où l'on se trouve d'opérer la discrimination nécessaire, on se contente d'appliquer une correction moyenne. On dénombre les étoiles situées sur le cliché dans la région voisine de l'amas, puis on calcule leur nombre moyen par unité de surface ; on applique alors, aux nombres obtenus dans chacun des anneaux, une correction proportionnelle à la surface de ces derniers. Cette façon de procéder est un peu arbitraire ; c'est pourquoi il faut effectuer ensuite un ajustement des données. Cet ajustement se fera très facilement au moyen d'un graphique, mais il devra être fait avec le plus grand soin.

Le problème, qui se pose maintenant, consiste à déterminer la densité dans l'espace aux différentes distances du centre, connaissant le nombre des étoiles projetées à l'intérieur de chacun des anneaux.

Le problème a été posé et résolu pour la première fois par le professeur von Zeipel ; sa méthode donne de bons résultats, mais elle est assez laborieuse. Le professeur C. Parvulesco a proposé une autre solution, qui a le mérite d'être très simple : il divise l'amas en couches sphériques concentriques correspondant aux divers anneaux de la projection, et suppose la densité constante dans chacune des couches. Le calcul de la densité dans chaque couche devient alors facile ; malheureusement, l'hypothèse de M. Parvulesco s'écarte beaucoup de la réalité, quand on se rapproche du centre. Les résultats obtenus par l'astronome roumain, pour divers amas, constituent néanmoins une indication fort utile.

Le but de cette note est d'exposer une méthode qui soit suffisamment précise, tout en restant d'application facile. Dans ce qui suit, nous supposerons que l'amas est sphérique, de rayon égal à R, et que la loi de distribution des densités est la même dans toutes les directions, de sorte que tous les points ayant la même densité soient situés sur une surface sphérique.

Désignons par $x_1, x_2, \ldots, x_{n-1}, x_n = R$, les rayons des différents cercles tracés sur le cliché. Appelons $\Phi(r)$ la densité dans l'espace à la distance r du centre, et par suite $\Phi(r)\,dv$ le nombre des étoiles contenues dans le volume élémentaire dv à cette distance. Représentons par $N(x_i)$ le nombre des étoiles du cliché à l'extérieur du cercle de rayon x_i ; c'est la somme des nombres contenus dans tous les anneaux extérieurs à ce cercle.

Dans cette notation, $N(0)$ est le nombre total des étoiles de l'amas. $N(x_i)$ est égal au nombre des étoiles intérieures à l'amas, c'est-à-dire à la sphère de rayon R, et extérieures au cylindre droit, dont l'axe est dirigé vers l'observateur, et dont la base est le cercle de rayon x_i.

Dans cette région, tous les points ayant la même densité $\Phi(r)$ se trouvent sur une zone, dont la surface est égale à

$$4\pi r\sqrt{r^2 - x_i^2}\,.$$

Il résulte de la définition de la fonction $\Phi(r)$ qu'il y a, dans le volume élémentaire

$$4\pi r\sqrt{r^2 - x_i^2}\,dr\,,$$

un nombre d'étoiles égal à

$$4\pi r\sqrt{r^2 - x_i^2}\cdot\Phi(r)\,dr\,.$$

Il suffit de faire varier r entre les limites x_i et R pour voir que

$$N(x_i) = \int_{x_i}^{R} 4\pi r\sqrt{r^2 - x_i^2}\cdot\Phi(r)\,dr\,. \tag{1}$$

L'observation donne les valeurs de $N(x_i)$ pour $x_i = 0, x_1, x_2, \ldots x_{n-1}$. On dispose donc de n équations pour déterminer $\Phi(r)$. On sait, en outre, que cette fonction est nulle à la surface de l'amas, puis croît sans cesse quand on chemine vers le centre.

Si l'on pouvait représenter $\Phi(r)$ par un polynôme

$$\Phi(r) = A_0 + A_1 r + A_2 r^2 + \ldots,$$

on pourrait calculer les seconds membres des équations (1), et déduire les valeurs de $A_0, A_1, \ldots$ par la méthode des moindres carrés ou des moments.

Nous nous sommes rendu compte qu'il faudrait avoir recours à un polynome de degré trop élevé pour que la méthode fût pratique, et que l'on risquait, en outre, d'obtenir une courbe présentant des extrémés dans l'intervalle $(0, R)$. Nous tournerons la difficulté en partageant l'intervalle d'intégration $(x_i, x_n = R)$ en plusieurs autres correspondant aux différents

anneaux du cliché : (x_i, x_{i+1}), (x_{i+1}, x_{i+2}), ... (x_{n-1}, R), et en supposant que $\Phi(r)$ varie d'une manière linéaire dans chacun des intervalles. En d'autres termes, nous décomposons la courbe représentant la variation de la densité avec la distance, en fragments que nous assimilons à des droites. Cela revient à décomposer l'amas en couches sphériques, et à supposer que la densité varie linéairement dans chacune des couches.

D'une manière générale, dans l'intervalle (x_i, x_{i+1}), on adoptera pour $\Phi(r)$ l'expression

$$\Phi(r) = \Phi(x_{i+1}) + A_{n-i}(x_{i+1} - r) . \tag{2}$$

Comme $\Phi(R) = 0$, dans l'intervalle (x_{n-1}, R) cette expression se réduit à

$$\Phi(r) = A_1(R - r). \tag{3}$$

Les équations (1) deviennent alors :

$$\begin{aligned} \frac{N(x_i)}{4\pi} = & \int_{x_i}^{x_{i+1}} r\sqrt{r^2 - x_i^2}\,[\Phi(x_{i+1}) + A_{n-i}(x_{i+1} - r)]\,dr \\ & + \int_{x_{i+1}}^{x_{i+2}} r\sqrt{r^2 - x_i^2}\,[\Phi(x_{i+2}) + A_{n-i-1}(x_{i+2} - r)]\,dr \\ & + \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \\ & + \int_{x_{n-1}}^{R} r\sqrt{r^2 - x_i^2}\,A_1(R - r)\,dr . \end{aligned} \tag{4}$$

En effectuant les intégrations indiquées, on obtient

$$\begin{aligned} \frac{N(x_i)}{4\pi} = \sum_{\alpha=i+1}^{\alpha=n} \Bigg[& \frac{A_{n-\alpha+1}\,x_\alpha + \Phi(x_\alpha)}{3}\left[(x_\alpha^2 - x_i^2)^{3/2} - (x_{\alpha-1}^2 - x_i^2)^{3/2}\right] \\ & + \frac{A_{n-\alpha+1}}{8}\Big\{ x_i^4\,[\log_e(x_\alpha + \sqrt{x_\alpha^2 - x_i^2}) - \log_e(x_{\alpha-1} + \sqrt{x_{\alpha-1}^2 - x_i^2})] \\ & - x_\alpha\sqrt{x_\alpha^2 - x_i^2}\,(2x_\alpha^2 - x_i^2) + x_{\alpha-1}\sqrt{x_{\alpha-1}^2 - x_i^2}\,(2x_{\alpha-1}^2 - x_i^2)\Big\} \Bigg] \end{aligned} \tag{5}$$

Quand on fait $i = n-1$ dans l'équation précédente, celle-ci se réduit à

$$\frac{N(x_{n-1})}{4\pi} = A_1\left[\frac{R}{24}\sqrt{R_2 - x_{n-1}^2}\,(2R^2 - 5x_{n-1}^2) + \frac{x_{n-1}^4}{8}\log_e\frac{R + \sqrt{R^2 - x_{n-1}^2}}{x_{n-1}}\right]$$

On en déduit A_1 ; au moyen de la formule (3) on calcule alors

$$\Phi(x_{n-1}) = A_1(R - x_{n-1}) \cdot$$

De l'expression de

$$\frac{N(x_{n-2})}{4\pi}$$

on déduira de même A_2, ce qui permettra de calculer

$$\Phi(x_{n-2}) = \Phi(x_{n-1}) + A_2(x_{n-1} - x_{n-2}) ,$$

et ainsi de suite.

Il est évident qu'en prenant un nombre suffisant d'intervalles, on peut obtenir telle précision que l'on désire dans la détermination des densités. A cause de l'incertitude relative des données, il est cependant inutile de décomposer l'amas en un nombre trop grand de couches, ce qui allongerait d'ailleurs les calculs. Les premiers intervalles (x_{n-1}, R), (x_{n-2}, x_{n-1})... pourront être relativement étendus, d'autant plus que la variation de la densité est assez faible dans les parties extérieures de l'amas ; ils seront resserrés au fur et à mesure que l'on se rapprochera du centre.

La complication de la formule (5) fait prévoir que l'application de cette méthode sera laborieuse. Remarquons toutefois que les coefficients des inconnues dépendent uniquement des points de subdivision $x_1, x_2, \ldots x_{n-1}$. Nous nous proposons de publier ultérieurement une table donnant les valeurs de ces coefficients pour un mode-type de subdivision. Tous les autres cas pourront aisément être ramenés à celui-ci.

En effet, si les dénombrements ont été effectués en utilisant des cercles dont les rayons soient autres que x_1, x_2, ... il suffira de construire, au moment de l'ajustement des données, la courbe représentant la fonction $N(x)$ et d'en déduire, par une simple interpolation graphique, les valeurs de $N(x)$ aux points de subdivision adoptés dans la table. Dans la région voisine du centre, il vaudra mieux cependant avoir recours à une interpolation numérique. La publication de cette table réduira considérablement les calculs, et alors la méthode exposée ci-dessus deviendra très commode.

Il arrive que le dénombrement effectué sur le cliché dans le petit cercle central (de rayon égal à x_1) soit très incertain, par suite de la trop grande accumulation des étoiles ; il est alors inutile de calculer $\Phi(r)$ dans cette région.

Dans les cas où ce dénombrement est suffisamment précis, il est possible d'obtenir une représentation mathématique de la fonction, valable dans tout l'intervalle $(0, R)$.

Remarquons tout d'abord qu'il est prudent d'abandonner notre hypothèse dans la petite sphère centrale. Heureusement il nous suffira, pour la suite de l'exposé, d'y calculer une densité moyenne, ce que nous ferons en supposant la fonction $\Phi(r)$ constante dans l'intervalle $(0, x_1)$. Dans l'expression (4) de

$$\frac{N(0)}{4\pi},$$

nous remplacerons donc le terme

$$\int_0^{x_1} r^2 \, \Phi(r) \, dr$$

par le suivant, plus simple d'ailleurs :

$$\Phi(r) \int_0^{x_1} r^2 \, dr .$$

Nous calculerons ensuite la densité moyenne dans chacune des couches

comprises entre les sphères de rayons x_i et x_{i+1} $(i=1, 2, \ldots n-1)$; cette densité moyenne est égale à

$$\frac{\int_{x_i}^{x_{i+1}} 4\pi r^2\ \Phi(r)\ dr}{\int_{x_i}^{x_{i+1}} 4\pi r^2\ dr},$$

expression dans laquelle $\Phi(r)$ doit être remplacé par le second membre de la formule (2). L'ensemble des valeurs moyennes de $\Phi(r)$ dans les différentes couches peut être représenté par une courbe en escalier. Les sauts de la fonction en $x_1, x_2, \ldots$ sont indiqués par la hauteur des marches en ces points ; désignons-les par X_1, $X_2, \ldots$

L'allure de la fonction $\Phi(r)$ suggère de représenter celle-ci par une série de polynômes d'Hermite, ou par une courbe de fréquence du type A de Charlier. Il suffit pour cela de calculer les moments d'ordre pair de la fonction $\Phi(r)$, le moment d'ordre $2p$ étant défini par

$$M_{2p} = \int_{-R}^{+R} r^{2p}\ \Phi(r)\ dr\ .$$

Dans ce but, nous les assimilerons à ceux de notre courbe en escalier, et il est facile de voir que ces derniers sont exprimés par la formule

$$M_{2p} = \frac{2}{2p+1} \sum_{i=1}^{i=n} x_i^{2p+1}\ .\ X_i\ .$$

Nous pouvons ainsi obtenir une représentation mathématique de la fonction $\Phi(r)$, ce qui constitue en même temps un excellent ajustement de nos résultats.

SUR LE CALCUL DE LA LONGITUDE ET DE LA LATITUDE D'UN LIEU, DÉDUITES DE DEUX OBSERVATIONS DE HAUTEURS (1)

par E. MERLIN,

Professeur à l'Université de Gand

Aux heures sidérales t_1 et t_2 d'un lieu connu, de longitude L_0, on observe les hauteurs h_1 et h_2 de deux astres E_1 et E_2, de coordonnées équatoriales α_1, δ_1 et α_2, δ_2 ; en déduire la latitude φ et la longitude L du lieu où les hauteurs ont été observées.

On sait que la résolution de ce problème revient à celle du système de formules suivant :

$$H_2 - H_1 = \alpha_1 - \alpha_2 - (t_1 - t_2) \qquad \operatorname{tg}\frac{Q}{2} = \pm\sqrt{\frac{\cos s \,.\, \sin(s - h_1)}{\cos(s - D) \,.\, \sin(s - h_2)}},$$

$$m \sin M = \sin \delta_1 \qquad n \sin N = \sin h_2 ,$$

$$m \cos M = \cos \delta_1 \cos(H_2 - H_1) , \qquad n \cos N = \cos h_2 \cos(P - Q) ,$$

$$\sin D \sin P = \cos \delta_1 \sin(H_2 - H_1) , \qquad \cos \varphi \sin H_2 = \cos h_2 \sin(P - Q) ,$$

$$\sin D \cos P = m \sin(M - \delta_2) , \qquad \cos \varphi \,.\, \cos H_2 = n \sin(N - \delta_2) ,$$

$$\cos D = m \cos(M - \delta_2) , \qquad \sin \varphi = n \cos(N - \delta_2) ,$$

$$s = \frac{1}{2}(h_1 + h_2 + D) , \qquad L = L_0 + t_2 - (\alpha_2 + H_2) .$$

Une projection stéréographique et l'usage d'une table des tangentes ramènent ce calcul au suivant :

$$\frac{1}{2}\left(\operatorname{cotg}\frac{h_1 + \delta_1}{2} + \operatorname{tg}\frac{h_1 - \delta_1}{2}\right), \quad \frac{1}{2}\left(\operatorname{cotg}\frac{h_2 + \delta_2}{2} + \operatorname{tg}\frac{h_2 - \delta_2}{2}\right),$$

$$\frac{1}{2}\left(\operatorname{cotg}\frac{h_1 + \delta_1}{2} - \operatorname{tg}\frac{h_1 - \delta_1}{2}\right), \quad \frac{1}{2}\left(\operatorname{cotg}\frac{h_2 + \delta_2}{2} - \operatorname{tg}\frac{h_2 - \delta_2}{2}\right),$$

et à la construction de deux circonférences.

La construction graphique donne l'angle horaire et l'azimut de chacune des étoiles H_1, A_1 ; H_2, A_2. Les deux formules différentielles suivantes permettent d'améliorer la solution.

(1) Communication faite devant les Sections d'Astronomie et de Géodésie.

$$d\varphi = \frac{\sin A_1\, d h_{2c} - \sin A_2\, d h_{1c}}{\sin (A_2 - A_1)},$$

$$d L = \frac{\cos A_1\, d h_{2c} - \cos A_2\, d h_{1c}}{\cos \varphi \,.\, \sin (A_2 - A_1)};$$

avec

$$\cos h_{1c} = \frac{\sin H_1 \cos \delta_1}{\sin A_1},$$

$$\cos h_{2c} = \frac{\sin H_2 \cos \delta_2}{\sin A_2},$$

$$d h_{1c} = h_1 - h_{1c}, \qquad d h_{2c} = h_2 - h_{2c}.$$

SUR LA RÉDUCTION DES OBSERVATIONS MÉRIDIENNES EN ASCENSION DROITE (1)

par F. MOREAU,

Astronome à l'Observatoire royal de Belgique

On sait qu'à chaque observation de passage au méridien supérieur correspond une équation de la forme :

$$t + Cp + (c - \varkappa) \sec \delta + i \cos (\varphi - \delta) \sec \delta + a \sin (\varphi - \delta) \sec \delta = \alpha \qquad (1)$$

(formule de Mayer). La méthode habituellement suivie pour la réduction des observations de passage consiste à mesurer directement la collimation c et l'inclinaison i par des procédés physiques (c par retournement de la lunette sur une mire ou par la méthode des collimateurs horizontaux ; i par le niveau ou par l'horizon à mercure nadiral) et à calculer ensuite les valeurs de la déviation azimutale a et de la correction de pendule Cp, par la résolution des équations qui correspondent aux observations d'étoiles fondamentales. Les ascensions droites des étoiles de position inconnue sont alors calculées par la formule de Mayer.

Cette manière de procéder exige de longs calculs : en effet, les coefficients de c, i et a doivent être interpolés pour chaque étoile ; de plus la résolution, par la méthode des moindres carrés, des équations contenant les deux inconnues a et Cp est longue et fastidieuse. On simplifie

(1) Communication faite devant les Sections d'Astronomie et de Géodésie.

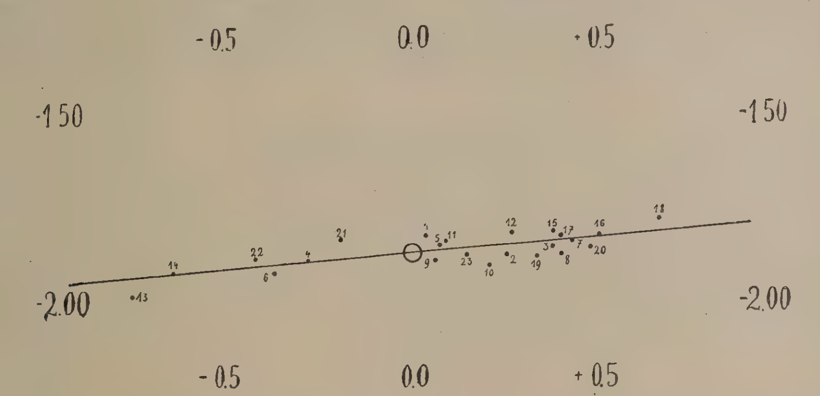
généralement les calculs en déterminant la valeur de a par la combinaison de l'équation correspondant à une circompolaire avec la moyenne des équations qui correspondent aux étoiles équatoriales et australes. Mais en procédant ainsi on a l'inconvénient de ne pas faire concourir toutes les observations à la détermination des inconnues.

*
* *

Pour la détermination de a et Cp, il nous paraît avantageux d'utiliser le procédé graphique suivant : on fait un diagramme en portant les valeurs de $\sin(\varphi-\delta)\sec\delta$ en abscisse et celles de

$$\alpha-[t+(c-\varkappa)\sec \ \ +i\cos(\varphi-\delta)\sec\delta]$$

en ordonnée. On aura autant de points que d'étoiles fondamentales observées. Pour que ces points soient en ligne droite, il faudrait que les trois conditions suivantes soient réalisées : observations parfaites, ascensions droites exactes et corrections instrumentales constantes pendant la séance d'observation. On tracera au mieux la droite qui passe à travers ces



points : son coefficient angulaire est la valeur, exprimée en secondes de temps, de la déviation azimutale ; l'ordonnée du point d'intersection de la droite avec l'axe des y, est la valeur de la correction de pendule. Les étoiles fondamentales observées seront numérotées dans l'ordre de leurs ascensions droites croissantes : on pourrait éventuellement se rendre compte, de cette manière, d'une variation des corrections instrumentales au cours de la séance d'observation.

*
* *

On peut simplifier la réduction des observations méridiennes en ascension droite par le procédé graphique suivant, qui est appliqué par le service méridien de l'Observatoire royal de Belgique depuis 1925.

Posons $m=i\cos\varphi+a\sin\varphi$ et $n=i\sin\varphi-a\cos\varphi$

et la formule (1) devient :

$$Cp+m+n\,\mathrm{tg}\,\delta+(c-\varkappa)\sec\delta=\alpha-t \quad \text{(formule de Bessel)}$$

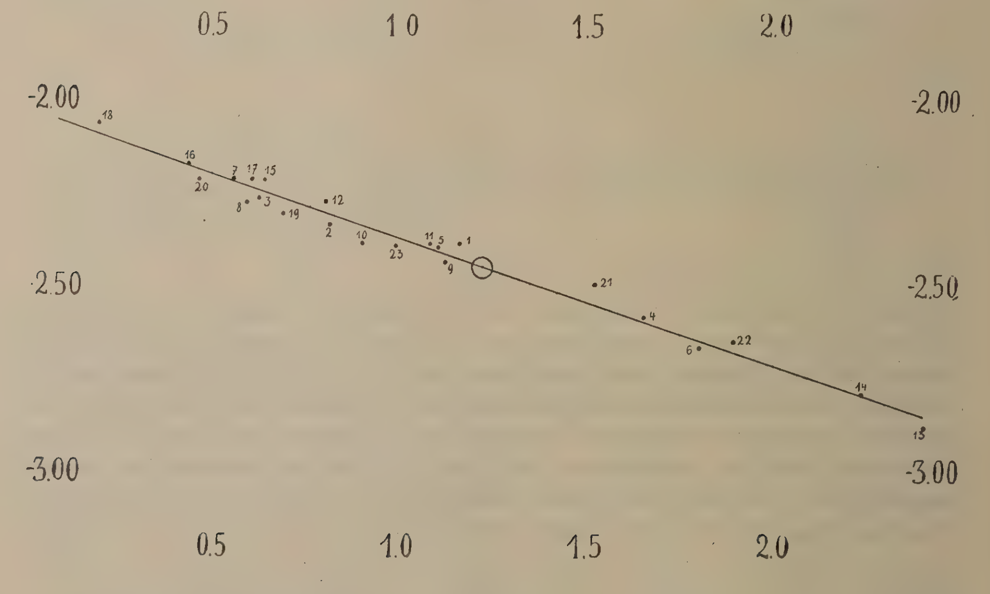
Si l'on fait un diagramme en portant les valeurs de $\mathrm{tg}\,\delta$ en abscisse et celles de $(\alpha-t)$ en ordonnée, on aura autant de points que d'étoiles fondamentales observées et l'on montre facilement que ces points sont distribués suivant une hyperbole. Ces points seraient distribués suivant une ligne droite (de coefficient angulaire n) si la collimation était nulle.

Quand on a en vue la détermination de l'heure, on déduit du diagramme la valeur $(\alpha-t)_z$ qui correspondrait à une observation zénithale $(\delta=\varphi)$ et la correction de pendule se calcule alors par la formule :

$$Cp=(\alpha-t)_z-(i+c)\sec\varphi,$$

la valeur de $(i+c)$ étant déterminée par des procédés physiques. On observera une dizaine d'étoiles fondamentales qui culminent de part et d'autre du zénith et à moins de 20° de distance zénithale. Cette manière de procéder, n'exige donc pas la détermination de la déviation azimutale ; sa variation sera d'ailleurs sans effet sensible sur la détermination de Cp (²).

Quand on a en vue la détermination d'ascensions droites, on déduit du diagramme les valeurs de la fonction $(\alpha-t)$ qui correspondent aux dé-



clinaisons des étoiles d'ascension droite inconnue. En ajoutant t, (heure marquée par la pendule sidérale au moment du passage, au fil moyen, de l'étoile d'ascension droite inconnue) à la valeur correspondante de $(\alpha-t)$, on obtient l'ascension droite cherchée. On est ainsi dispensé de la

(²) M. F. Gonnessiat, directeur de l'Observatoire d'Alger, utilise un procédé graphique semblable pour la détermination de la correction de pendule.

détermination des corrections instrumentales et de la correction de pendule, mais on s'assurera que ces corrections n'ont pas subi de variation au cours de la séance d'observation. Si les étoiles observées culminent dans le voisinage du zénith, on tiendra compte éventuellement d'une variation de l'inclinaison, mais dans ce cas l'observation des mires est superflue. La collimation, qui présente généralement une grande constance, est rendue assez petite pour que les points du diagramme qui correspondent aux étoiles fondamentales se disposent à peu près en ligne droite. Il sera avantageux de choisir les étoiles fondamentales dans la zone envisagée ou voisines de cette zone de manière que les mesures d'ascensions droites soient différentielles.

Si l'on désirait connaître la valeur de la dérivation azimutale, il faudrait corriger les temps de passage des étoiles fondamentales de l'influence de la collimation (et de l'aberration diurne) et porter en ordonnée $\alpha-[t+(c-\varkappa)\sec\delta]$. Les points représentatifs des étoiles se disposeraient alors suivant une ligne droite de coefficient angulaire $n=i\sin\varphi-a\cos\varphi$ Connaissant ce coefficient angulaire et l'inclinaison i, on calculera a par la formule : $a=i\operatorname{tg}\varphi-n\sec\varphi$.

Soit y_0 l'ordonnée du point de rencontre de la droite avec l'axe des y ; on a : $y_0=Cp+m$

d'où

$$Cp=y_0-(i\cos\varphi+a\sin\varphi).$$

Les coefficients des droites tracées sur les deux graphiques ci-dessus ont été déterminés par la méthode des moindres carrés. Le lecteur pourra se convaincre par quelques essais qu'il suffit de tracer directement la droite en répartissant au mieux, de part et d'autre, les points d'observation (une règle transparente est commode pour ce tracé). L'erreur commise sur Cp, qui résultera de ce tracé approximatif, ne dépassera pas généralement $0^s,005$, ce qui est négligeable dans l'état actuel de l'astronomie méridienne.

DISCORDANCE ENTRE LES DISTANCES ZÉNITHALES D'UNE ÉTOILE OBSERVÉE DIRECTEMENT ET PAR RÉFLEXION (R-D)

par L. DE CLERCK

Assistant à l'Observatoire royal de Belgique

Sous le nom de discordance R-D, on entend le désaccord que l'on constate dans les déterminations des distances zénithales d'une même étoile observée directement et par réflexion. Ce fut Pond qui, le premier, signala ce désaccord. La discordance R-D a été l'objet de nombreuses recherches de la part des astronomes du monde entier et malgré le grand nombre de travaux engagés dans cette voie, on n'est pas encore parvenu à donner une explication complète du phénomène. On a essayé de la trouver dans les flexions de la lunette et du cercle, dans une réfraction irrégulière se produisant dans le cas d'une observation par réflexion, dans un mouvement du tube porte-réticule et dans un déplacement de l'objectif, etc... Il est probable que la discordance R-D est la résultante de plusieurs causes connues et principalement de celles énumérées plus haut. Il ne faut pas perdre de vue qu'on la constate au cours d'une série de déterminations dont certaines restent très délicates ; on ne doit donc pas s'étonner de l'existence d'un désaccord.

La discordance R-D a été étudiée, d'une manière systématique, à l'observatoire de Greenwich. La première discussion des observations anglaises a été faite par Sir Airy, astronome royal. Dans un article écrit pour la *Royal Astronomical Society*, il discute longuement la discordance R-D et arrive aux conclusions suivantes : « Il semble que la correction 1/2(R-D) ou 3/5 (R-D) soit une correction réelle basée sur une cause physique. A ce sujet, je remarquerai d'abord que je ne conçois pas qu'il y ait place, de quelque façon que ce soit, pour une explication ayant comme base des défauts de l'instrument. » Plus loin il dit : « Il semble probable qu'aucune des colatitudes d'observatoires où l'on n'utilise que les observations directes, soit exacte à un quart de seconde près, et qu'aucune distance polaire nord d'étoiles situées à 70° ou 80° du pôle, soit exacte à une demi-seconde près. Je ne vois pas d'autre méthode pour lever cette indétermination que l'introduction des observations par réflexion d'étoiles situées de part et d'autre du zénith. »

Eastman, astronome à Washington, n'admet pas les conclusions précédentes et estime que les causes de la discordance doivent être recherchées dans les erreurs instrumentales. Il pense que la flexion n'est pas la même des deux côtés du zénith à cause du déplacement de l'objectif et du mou-

vement du tube porte-réticule. Il a été amené à formuler cette hypothèse en se basant sur le fait que la discordance fournie par les étoiles situées au nord du zénith n'est pas la même que celle obtenue pour les étoiles situées au sud du zénith. Au lieu de faire varier la correction à appliquer aux observations suivant une loi de la forme $a + b \sin z$ (adoptée à Greenwich) il obtient des résultats aussi satisfaisants en admettant des corrections systématiques constantes mais différentes au nord et au sud du zénith.

Turner et Thackeray ont étudié la discordance R-D par la discussion des observations faites à Greenwich de 1851 à 1890. Ils pensent qu'elle n'est pas due à une flexion astronomique ordinaire et qu'elle ne peut provenir d'une réfraction irrégulière ; cependant ils estiment qu'elle est liée intimement à l'état de l'instrument au moment de l'observation.

Plus récemment, F. Contarino, astronome à l'observatoire de Capodimonte a étudié l'influence de la réfraction sur la discordance R-D. Il trouve qu'on peut la représenter par une expression de la forme :

$$a \sec^2 z + b \sin z$$

L'auteur, en reprenant les résultats des observations faites à Greenwich, a cherché des valeurs admissibles pour les constantes a et b correspondant mieux aux observations que celles de la formule $a + b \sin z$ employée à Greenwich.

H.-R. Morgan et G.-M. Raynsford au N. O. U. S. ont effectué, pendant la période 1914-1917, plus de 2.300 observations directes et par réflexion. Les distances zénithales des étoiles observées (des deux côtés du zénith) sont comprises entre 16° et 69°. En appliquant aux observations les valeurs des flexions horizontale et verticale déterminées au moyen des collimateurs (horizontaux et verticaux), ils obtiennent comme résidus des valeurs pouvant être considérées pratiquement comme nulles. La discordance R-D serait donc due uniquement aux flexions de la lunette et du cercle.

Pendant la période 1924-25, nous avons effectué un petit nombre d'observations directes et par réflexion de trois étoiles circompolaires. La discussion de ces observations nous a amenés à attribuer les causes de la discordance R-D, aux actions combinées des flexions et des erreurs de traits. Dans l'expression de la flexion :

$$a \sin z + b \cos z$$

admise généralement comme suffisante dans un instrument construit avec soin, la valeur du coefficient a ($0'',4$ environ) a été déterminée par la méthode des collimateurs. Ne disposant pas d'un collimateur zénithal, nous n'avons pu déterminer, par une méthode directe, la valeur du coefficient b. Déduite de l'observation, cette valeur a été trouvée constante et égale à $0'',5$ environ. Les résidus obtenus avaient une valeur moyenne de $0'',03 \pm 0'',07$ et la latitude du Cercle Méridien de l'Observatoire royal de Belgique était de 50° 47′ 54″,3, inférieure de $0'',3$ à la valeur adoptée.

D'après les différentes études que nous venons de passer succinctement en revue, la discordance R-D serait dépendante de l'état de l'instrument au moment de l'observation et la partie principale de ce désaccord résulterait des flexions de la lunette et du cercle. Un grand nombre d'observations effectuées avec grand soin et une étude continue des flexions de l'instrument employé permettront probablement de résoudre ce problème d'astronomie pratique qui causa tant de déceptions aux astronomes.

L'ENREGISTREMENT DES SIGNAUX HORAIRES À L'OBSERVATOIRE ROYAL D'UCCLE (1)

par J. VERBAANDERT,

Assistant à l'Observatoire royal de Belgique

I. Avant de décrire la méthode d'enregistrement en usage à Uccle, il convient de faire, d'une manière succincte, l'historique de la question.

Pour remonter aux premiers enregistrements, il faut considérer les célèbres expériences de Marconi, en 1895 ; elles prouvèrent qu'on pouvait agir à plusieurs kilomètres de distance sur la résistance d'un cohéreur de Branly et actionner ainsi un appareil Morse.

Le premier enregistrement de signaux rythmés fut effectué, en 1904, à l'Observatoire de Montsouris, où on enregistra, sur un chronographe à bande, des signaux émis à l'Observatoire de Paris. Nous devons signaler qu'en janvier 1905, le Navy Department, à Washington, commença l'envoi de signaux horaires par télégraphie sans fil. Il semble ensuite que, pendant toute une période, jusqu'en 1910, l'enregistrement tomba en désuétude ; ce fait doit sans doute être attribué à la sensibilité très supérieure de l'écoute au casque et à la facilité avec laquelle l'oreille peut distinguer les bruits parasites des émissions régulières. Le problème eut un regain d'actualité après l'inauguration, le 23 mai 1910, d'une émission régulière de signaux horaires par le puissant poste radio-télégraphique militaire du Champ-de-Mars. Quelques jours après cette inauguration, A. Turpain parvint à enregistrer les signaux de la Tour au moyen d'une méthode photographique et, en décembre 1911, se servant d'un galvanomètre à corde, il les enregistra à Poitiers, soit à 300 kilomètres de Paris.

Il est à signaler qu'en 1910 Poulsen et Pedersen, se servant eux aussi d'un galvanomètre à corde, enregistrèrent des signaux entre l'Irlande et Copenhague.

Notre pays fut loin de rester en arrière dans cette question importante. Lors de l'éclipse du 17 avril 1912, un dispositif d'enregistrement fut réalisé à Namur par le Père Wulf, assisté du Père Lucas. Il s'agissait d'imprimer photographiquement, sur un papier sensible, les signaux de la Tour, émis pendant l'éclipse. On utilisa le nouvel électromètre unifilaire construit suivant les indications du Père Wulf. L'enregistrement ne laissa rien

(1) Communication faite devant les Sections d'Astronomie et de Physique.

à désirer et fit l'objet d'une note dans le *Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique*, 1912, p. 311.

En octobre 1912, le Gouvernement français organisa à Paris une conférence internationale de l'heure, à laquelle seize Etats se firent représenter. Un point du programme de la conférence portait sur les appareils à utiliser pour l'émission et la réception des signaux. A cette occasion, le vœu suivant, proposé par M. Henri Abraham, fut adopté à l'unanimité : « La conférence recommande aux observatoires et aux administrations intéressées de mettre à l'étude l'organisation de l'enregistrement automatique des signaux horaires. »

Henri Abraham présenta d'ailleurs pendant la conférence, des enregistrements de signaux de Norddeich obtenus à l'Observatoire de Paris à plus de 700 kilomètres du poste transmetteur.

Le Père Lucas, délégué à la conférence par le Ministère des Sciences et des Arts de Belgique, y fit certaines communications d'un grand intérêt et exposa les résultats qu'il avait obtenus à Namur au moyen d'un galvanomètre à corde.

En janvier 1914, MM. H. Abraham, A. Dufour et G. Ferrié effectuèrent la mesure par enregistrement de la durée de propagation des ondes entre Paris et Washington. Ils obtinrent 0,02122 seconde, l'enregistrement étant effectué presque à la limite de portée.

L'apparition de la lampe à trois électrodes vint, pendant la guerre, considérablement simplifier les procédés d'enregistrement. Cependant, ce n'est qu'en 1920 que l'Observatoire de Paris commença un enregistrement régulier, tandis qu'à Uccle, ce ne fut qu'en 1924.

Actuellement, Uccle enregistre régulièrement les signaux de Bordeaux (18.060 mètres), de Rugby (18.479 mètres), et de Nauen (18.060 mètres). D'ici peu, l'Observatoire aura un poste récepteur à ondes courtes pour l'enregistrement de certaines émissions américaines.

II. *Les appareils d'enregistrement.* — Ceux-ci se composent de deux parties essentielles, le dispositif d'écoute et le dispositif d'enregistrement ou amplificateur de très basse fréquence.

a) Dispositif d'écoute.

Ce dispositif comporte :

1° Une boîte hétérodyne séparée, dont la longueur d'onde d'émission peut varier entre 15.000 et 30.000 mètres ;

2° Un grand cadre d'une hauteur de 3 m. 50 et d'une largeur de 2 m. 50, comprenant 200 spires, espacées d'un demi-centimètre ;

3° Une boîte de résonance permettant un couplage variable du circuit oscillant cadre et du circuit oscillant grille d'une lampe haute fréquence. Une self auxiliaire en série dans le circuit plaque de cette lampe, permet d'introduire une résistance négative dans le circuit oscillant grille dont nous venons de parler.

Remarquons que la lampe haute fréquence est une bigrille à fort coefficient d'amplification ;

4° Une détective et trois étages de basse fréquence. La seule particularité réside ici dans les deux derniers étages dont la liaison est du type capacité impédance, l'impédance étant constituée par un bobinage de 1.200 spires comportant un noyau mobile de fil de fer doux. Cette impédance est shuntée par une capacité de deux microfarads pour constituer un circuit bouchon accordé sur fréquence musicale.

La basse fréquence permet ainsi d'obtenir simplement une syntonie qu'on aurait plus difficilement en utilisant plusieurs étages de haute fréquence même peu amortis, il faut évidemment choisir la note de battement avec l'hétérodyne correspondant à la fréquence pour laquelle l'étage basse fréquence en question est accordé.

b) Dispositif d'enregistrement.

Il se compose d'abord d'une lampe détectrice, dont le rôle est de redresser le courant alternatif de fréquence musicale dont on dispose à la sortie de l'amplificateur basse fréquence.

Le courant redressé prend le nom de courant de très basse fréquence; c'est un courant variant suivant la manipulation Morse. Ce courant est amplifié au moyen d'un amplificateur à trois étages à liaison par capacité résistance. Les capacités ont ici des valeurs de l'ordre du microfarad ; les résistances de fuite valent environ quatre megohms. La mise au point de ce genre d'amplificateur a été faite, pendant la guerre, par Henri Abraham et Eugène Block ; on peut en trouver une description détaillée dans la *Revue générale de l'électricité*, **7**, pp. 211 et 255, 1920.

Pour terminer, le primaire d'un relais Siemens est intercalé dans le circuit plaque de la dernière lampe, le secondaire de ce relais servant à fermer le circuit d'impression du chronographe imprimant Gautier installé dans la grande salle méridienne.

III. *Les retards à l'enregistrement.* — Si on ne prenait la précaution de déterminer soigneusement les retards introduits par l'appareil, les enregistrements pourraient comporter des erreurs systématiques de plusieurs centièmes de seconde. Les retards à craindre sont introduits par l'amplificateur à très basse fréquence, à cause des fortes capacités qu'il possède, et par le relais mécanique qui termine l'ensemble à cause de son inertie mécanique et de la constante de temps élevée du bobinage.

Ces retards se déterminent souvent par le procédé d'émission suivant : des signaux rythmés sont émis à l'Observatoire même, en provoquant, à chaque seconde, la fermeture du circuit d'alimentation haute tension d'un petit poste d'émission ; on se sert pour cela du contact au balancier d'une pendule de temps sidéral. Ces signaux sont enregistrés sur le chronographe imprimant par l'intermédiaire des appareils de réception. Les battements de la même pendule sont ensuite enregistrés directement sur le chronographe en provoquant simplement, par la pendule, la fermeture du circuit d'impression. En négligeant le retard à l'émission, évidemment très petit, la différence entre les deux enregistrements nous

donne le retard du dispositif enregistreur et nous nous sommes mis de la sorte, ce qui est avantageux, dans les conditions de réception.

Nous pouvons admettre comme conclusion, que l'enregistrement étant corrigé du retard indiqué, la seule erreur pouvant encore subsister provient du chronographe imprimant dont la précision laisse un peu à désirer.

Pour atteindre une précision de l'ordre du millième de seconde, il faudrait utiliser un chronographe à bande, avec grande vitesse de déroulement, et un dispositif inscripteur de grande sensibilité, par exemple le magnéto-oscillographe à plume souvent employé par A. Abraham et E. Block.

ESSAIS SUR LA FORMULE DE LAGRANGE ET L'ÉQUATION DE GAUSS

par R.-H.-J. GERMAY,

Professeur à l'Université de Liége

---

§ 1. L'équation de Gauss

$$\sin (z - q) = m \sin^4 z \tag{1}$$

joue, comme on le sait, un rôle fondamental dans la résolution du problème des orbites. On trouvera ci-après un résumé de quelques essais entrepris à l'Institut d'Astronomie et de Géodésie de l'Université de Liége, en vue d'apporter une contribution à l'étude de cette question. Nous avons proposé ou modifié diverses méthodes que nous exposons brièvement dans ce qui suit.

§ 2. *Méthode de la fonction implicite* — En écrivant l'équation sous la forme

$$\sin (z - x) - m \sin^4 z = 0, \tag{2}$$

on voit qu'elle admet, en vertu du théorème des fonctions implicites, une et une seule racine, fonction analytique de x se réduisant à 0 pour $x = 0$; les premiers termes de son développement en série sont

$$z = x + m\,x^4 - \frac{2}{3} m\,x^6 + 4\,m^2\,x^7 + \ldots\ldots \tag{3}$$

Les approximations successives de la fonction z peuvent d'ailleurs se calculer par la formule récurrente

$$\begin{aligned} z_{\mu+1}(x) &= z_\mu(x) - \sin\left[z_\mu(x) - x\right] \\ &+ m\left[\frac{3}{8} - \frac{1}{2}\cos 2\,z_\mu(x) + \frac{1}{8}\cos 4\,z_\mu(x)\right], \end{aligned} \tag{4}$$

moyennant la valeur initiale $z_0 = 0$ [1].

§ 3. *Méthode de Tisserand.* — Sans recourir au théorème des fonctions implicites, on peut encore calculer des approximations successives

$$0 = \Theta_0 < \Theta_1 < \Theta_2 < \ldots\ldots\ldots < \Theta_n < \ldots\ldots\ldots \tag{5}$$

[1] *Sur le problème des orbites (Mémoires de l'Académie Royale de Belgique, Classe des Sciences*, collection in-8°, **10**, 11-12 [1929]).

inférieures à $\frac{\pi}{2}$ de la racine de l'équation (1) moyennant la formule récurrente

$$\sin \Theta_{n+1} = m \sin^4 (\Theta_n + q) \tag{6}$$

et la valeur initiale $\Theta_0 = 0$. Toutefois, cette méthode ne s'applique avec certitude que si

$$0 < m < 2\sqrt{2} \quad , \quad 0 < q < \alpha - \frac{\pi}{4}, \tag{7}$$

α étant le nombre compris entre

$$\frac{\pi}{4} \text{ et } \frac{\pi}{2}$$

qui correspond à m par l'équation

$$\cos \alpha = m \sin^4 \alpha. \text{ (}^2\text{)} \tag{8}$$

§ 4 *Méthode de M. Orloff.* — En écrivant, d'après M. Orloff, l'équation de Gauss sous la forme

$$\sin z - m \sin^4 z = \sin q \left[1 - \frac{2 \sin \frac{z}{2} \sin \frac{z-q}{2}}{\cos \frac{q}{2}} \right], \tag{9}$$

nous avons modifié la méthode imaginée par l'auteur, en vue d'écarter certaines objections de caractère analytique. Nous résolvons par le théorème des fonctions implicites une suite indéfinie d'équations de la forme

$$u - \lambda u^4 = a_n, \tag{10}$$

et construisons ainsi une suite indéfinie de fonctions déterminées de proche en proche par la relation récurrente

$$\sin z_{n+1}(\lambda) - \lambda \sin^4 z_{n+1}(\lambda) = \sin q \left[1 - \frac{2 \sin \frac{1}{2} z_n(\lambda) \sin \frac{1}{2} \{ {}_n(\lambda) - q \}}{\cos \frac{q}{2}} \right], \tag{11}$$

moyennant la valeur initiale $z_0 = q$; le nombre positif fixe q, inférieur à $\frac{\pi}{2}$, est tel que

$$\sin \frac{q}{2} < \frac{3}{8} \tag{12}$$

(2) *Sur une méthode de résolution par approximations successives de l'équation de Gauss* (*Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique, Classe des Sciences*, 5e série, **15**, n° 3, 214-221 [1929]).

La variable λ varie dans l'intervalle $(0, \frac{k}{4})$, le nombre positif k étant inférieur à 1. Si $0<\lambda<l$, l étant un certain nombre positif au plus égal à $\frac{k}{4}$, les $z_n(\lambda)$ forment deux suites

$$\left.\begin{array}{l} z_0 < z_2 < \ldots\ldots < z_{2n} < \ldots\ldots \\ z_1 > z_3 > \ldots\ldots > z_{2n+1} > \ldots\ldots \end{array}\right\} \qquad (12)$$

telles qu'un terme quelconque de la première est inférieur à un terme quelconque de la seconde et qui convergent effectivement vers la même limite quand $n \rightarrow \infty$. On fait $\lambda = m$ pour obtenir la solution de l'équation de Gauss (1) à condition que m appartienne à l'intervalle $(0, l)$ [3].

§ 5. *Méthode de la formule de Lagrange généralisée.* — Dans le voisinage de $m=0$, l'équation de Gauss peut s'écrire sous forme équivalente

$$z - q = \text{arc sin}(m \sin^4 z), \qquad (13)$$

ou en changeant les notations

$$u = a + \text{arc sin}(x \sin^4 u). \qquad (14)$$

Elle se présente ainsi comme un cas particulier de l'équation

$$u = a + \text{F}(v), \qquad v = x\Theta(u), \qquad (15)$$

où $\text{F}(v)$ est une fonction analytique s'annulant en $v=0$ et $\Theta(u)$ une fonction analytique dans le domaine de $u=a$. L'équation (15) généralise d'ailleurs l'équation classique de Lagrange

$$u = a + x\,\Theta(u). \qquad (16)$$

Nous avons établi que la fonction implicite définie par (15) a pour développement

$$u = a + \sum_{h=1}^{h=\infty} \frac{x^h}{h!} \left\{ \sum_{k=0}^{k=h-1} \text{G}_{h,k}(0) \frac{d^k}{da^k} [\Theta^h(a)] \right\} \qquad (17)$$

Les $\text{G}_{h,k}(v)$ sont des fonctions qui se définissent de proche en proche par les formules récurrentes

$$\left.\begin{array}{c} \text{G}_{h+1,0} = \text{G}'_{h,0}\ ,\ \text{G}_{h+1,1} = \text{F}'\text{G}_{h,0} + \text{G}'_{h,1}\ ,\ \ldots\ldots, \\ \text{G}_{h+1,s} = \text{G}_{h,s-1}\text{F}' + \text{G}'_{h,s}\ , \\ \text{G}_{h+1,h-1} = \text{G}_{h,h-2}\text{F}' + \text{G}'_{h,h-1}\ ,\ \text{G}_{h+1,h} = \text{G}_{h,h-1}\text{F}'', \end{array}\right\} \qquad (18)$$

moyennant la valeur initiale $\text{G}_{10} = \text{F}'$.

[3] *Sur l'application d'une méthode d'approximations successives à la résolution de l'équation de Gauss* (*Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique, Classe des Sciences*, 5e série, **15**, 1092-1110 [1929] et **16**, 305-315 [1930].

Pour l'équation de Gauss, on a en particulier

$$u = a + \frac{x}{1}\sin^4 a + \frac{x^2}{2!}\frac{d}{da}[\sin^8 a] + \frac{x^3}{3!}\left\{\sin^{12} a + \frac{d^2}{da^2}(\sin^{12} a)\right\}$$
$$+ \frac{x^4}{4!}\left\{\frac{d}{da}(4\sin^{16} a) + \frac{d^3}{da^3}(\sin^{16} a)\right\} + \frac{x^5}{5!}\left\{9\sin^{20} a + \frac{d^2}{da^2}(10\sin^{20} a) + \frac{d^4}{da^4}(\sin^{20} a)\right\}$$
$$+ \frac{x^6}{6!}\left\{\frac{d}{da}(64\sin^{24} a) + \frac{d^3}{da^3}(20\sin^{24} a) + \frac{d^5}{da^5}(\sin^{24} a)\right\}$$
$$+ \frac{x^7}{7!}\left\{225\sin^{28} a + \frac{d^2}{da^2}(259\sin^{28} a) + \frac{d^4}{da^4}(35\sin^{28} a) + \frac{d^6}{da^6}(\sin^{28} a)\right\} + \ldots . \text{ (4)} \quad (19)$$

Ce développement converge certainement dans l'intervalle défini par la formule

$$|x| < \frac{1}{4e}, \quad (20)$$

e désignant la base des logarithmes népériens (5).

Les sommes

$$G_h(v) = G_{h,0}(v) + G_{h,1}(v) + \ldots\ldots + G_{h,h-1}(v) \quad (21)$$

des fonctions $G_{h,k}(v)$ intervenant dans l'expression du coefficient de x^h dans le développement (17), sont en relation simple avec l'exponentielle $e^{F(v)}$. La relation récurrente

$$G_{h+1}(v) = G'_h(v) + F'(v)\, G_h(v) \quad (22)$$

conduit en effet à la considération des fonctions auxiliaires

$$\mathcal{H}_h(v) = G_h(v)\, e^{F(v)}, \quad (23)$$

et l'on peut montrer que

$$\mathcal{H}_h(v) = \frac{d^h \mathcal{H}_0}{dv^h}, \quad (24)$$

moyennant

$$\mathcal{H}_0(v) = e^{F(v)}. \quad (25)$$

Pour l'équation de Gauss, la fonction $\mathcal{H}_0$ est donnée par

$$\mathcal{H}_0 = e^{\arcsin v}, \quad (26)$$

et permet de trouver fort simplement les sommes $G_h(0)$ moyennant la formule récurrente

$$\mathcal{H}_{n+2}(0) = (n^2 + 1)\, \mathcal{H}_n(0), \quad (27)$$

(4) *Sur une extension de la formule de Lagrange et son application à la résolution de l'équation de Gauss* (*Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique, Classe des Sciences*, 5e série, **15**, 189-214 [1929]).

(5) *Sur l'équation de Gauss* (*id.*, 793-810 [1929]).

et l'égalité

$$\mathcal{H}_n(0) = G_n(0) \quad , \tag{28}$$

donnant explicitement

$$\left. \begin{aligned} G_{2p}(0) &= (1+2^2)(1+4^2) \;\ldots\ldots\; [1+(2p-2)^2], \\ G_{2p+1}(0) &= (1+1)^2(1+3^2) \ldots\ldots [1+(2p-1)^2]. \end{aligned} \right\} \tag{29}$$

§ 6. En dehors des résultats exposés ci-dessus, ces essais de résolution de l'équation de Gauss nous ont conduit à chercher les développements en série des solutions d'équations ou de systèmes d'équations généralisant l'équation de Lagrange. On trouvera ces développements dans les articles signalés au cours de la note actuelle et sous les rubriques suivantes :

1° *Sur la formule de Lagrange et sa généralisation* par M. T.-J. STIELTJES,*Bull. de l'Acad. Roy. de Belgique, Classe des Sciences*, 5e série, **14**, 372-390, (1928) ;

2° *Sur la formule de Lagrange*, première note, *id.*, **16**, 288-305, (1930) ; deuxième note, *id.* **16**, 602-618.

SUR L'OBSERVATION SYSTÉMATIQUE DE LA LUMIÈRE ZODIACALE ET LA RECHERCHE DES ISOPHOTES DÉDUITS DES OBSERVATIONS VISUELLES

par Léon CAP

En comparaison des autres domaines de l'Astronomie, celui relatif au phénomène de la Lumière Zodiacale a été peu exploré et étudié jusqu'à nos jours. Cet état de choses provient principalement du fait que les latitudes des principaux observatoires, tant européens qu'américains, ne sont pas favorables pour des observations systématiques du phénomène. Il n'y a que les régions comprises entre les deux tropiques qui se prêtent réellement pour entreprendre des séries suivies d'observations. Dans ces régions, les observatoires sont encore peu nombreux. Actuellement nous avons la station astronomique allemande, située à La Paz (Bolivie) où Rolf Müller, de Potsdam, a fait des essais très fructueux de détermination de la position de l'axe de la Lumière Zodiacale par rapport à l'écliptique, et des déterminations des isophotes photographiques, déduites des mesures faites au microphotomètre de Hartmann. Les résultats de ces recherches ont été publiés dans le numéro 1 de la nouvelle revue allemande, *Zeitschrift für Astrophysik* sortie de presse le 16 juin dernier.

Malgré l'intérêt scientifique incontestable que représentent ces entreprises, et où les auteurs disposent d'un appareillage des plus perfectionné, il me semble que les observations de la Lumière Zodiacale, faites à l'œil nu, si elles présentent un intérêt secondaire, ne doivent néanmoins pas être exclues. Les observations à l'œil nu, faites suivant une discipline rigoureuse, à l'abri de la fantaisie et aussi de la suggestion, pourront, modestement, contribuer à la recherche de connaissances plus approfondies de ce phénomène. C'est avec cette idée que l'Américain Granville, dans le n° 1 du tome XXXVI de *Popular Astronomy* a fait appel aux observateurs du monde entier pour faire des observations systématiques de la Lumière Zodiacale.

Granville demande qu'on fasse des observations sur la limite de la Lumière Zodiacale, sur l'élongation par rapport au Soleil qu'atteint le cône, sur les changements de l'intensité lumineuse et enfin les notations des conditions atmosphériques au moment où les observations ont été faites.

Cet appel a été entendu, et suivant cette méthode, des observations assez nombreuses, faites par des observateurs situés sous toutes les latitudes, sont régulièrement publiées dans la revue précitée. En résumé, toutes ces observations se bornent à dire à peu près ceci : que la Lumière

Zodiacale est plus lumineuse ou moins lumineuse que la Voie Lactée, que le cône atteint telle étoile de telle région, que la couleur est tantôt jaune, tantôt rose, faible ou prononcée, etc. Il est inutile d'insister sur le peu de valeur scientifique des observations ainsi conçues. Ici en Europe, F. Schmid qui semble avoir étudié plus à fond le phénomène et qui a publié en 1928, dans la série des *Problemen der kosmischen Physik*, vol. 11, un livre intitulé *Das Zodiakallicht* a suivi une méthode déjà plus perfectionnée. Pour déterminer les azimuts et les hauteurs des principales régions de la Lumière Zodiacale, l'auteur s'est servi d'un théodolite. Quant à la détermination de l'intensité lumineuse de la Lumière Zodiacale, Schmid a fait de simples comparaisons avec la Voie Lactée. Ces comparaisons ne nous renseignent que très vaguement sur l'état réel de la Lumière Zodiacale. Avec Graff, Araki et Kamei, dont les observations sont publiées régulièrement dans les *Astronomische Nachrichten*, entre autres les numéros 5329, 5468, 5684, etc., on pourrait allonger la liste des observateurs qui suivent cette méthode. Une mention spéciale doit être faite pour Buser (1), qui détermine la magnitude de la Lumière Zodiacale et qui trouve des magnitudes comprises entre la première et la demi-magnitude. L'auteur n'indique pas comment il a trouvé ces chiffres.

Lewis, à Germantown (2) et C. Hoffmeister (3) ont représenté les différentes intensités lumineuses de la Lumière Zodiacale par des isophotes, mais ils n'ont pas comparé systématiquement leurs observations avec des régions bien déterminées de la Voie Lactée dont on peut, et ce qui a été fait d'ailleurs, déterminer avec une approximation suffisante, l'intensité réelle des différentes plages galactiques. Nous possédons actuellement des cartes de la Voie Lactée dont les isophotes, conçus pour la première fois par Houzeau, ont été rigoureusement déterminés. Ainsi, les plages déterminées par ces isophotes pourront servir de plages de comparaison, d'étalon de luminosité, pour la détermination des différentes intensités de la Lumière Zodiacale et le tracé des isophotes de celle-ci.

Les différents auteurs qui ont publié des isophotes de la Voie Lactée ne concordent pas. Dans la publication des observations, on devra donc citer l'auteur de l'atlas, et cela a son importance, car il y a des différences assez notables entre Houzeau, Heis, Schmid, Easton, Gould, Boedicker, Wesley, Backhouse et Pannekoek. Personnellement, je me suis servi de l'atlas que M. Pannekoek a bien voulu me donner et qui a paru, pour l'hémisphère Nord dans les *Annalen van de Sterrenwacht van Leiden*, tome XI, 3e partie, et pour l'hémisphère Sud, dans les *Annalen van de Bosscha-Sterrenwacht*, Lembang, Vol. II, 1re partie. C'est l'atlas le plus précis et qui convient le mieux pour ce genre de recherche.

Pour l'estimation des différentes intensités lumineuses de la Lumière Zodiacale, on peut appliquer la méthode d'Argelander qui est en usage

(1) *A. N.*, n° 5468.
(2) *American Journal of Science*, **20**, **437**.
(3) *A. N.*, n° 4484.

courant pour les observations d'étoiles variables. Comme ces observations sont assez délicates, il sera quasi-indispensable de prendre quelques précautions élémentaires et qui découlent de la logique même du genre d'opération.

Il importera donc de passer par les observations suivantes :

1° Recherche de la plus faible magnitude visible dans les différents champs de comparaison, ceci afin de pouvoir juger de l'état atmosphérique et par conséquent du degré d'absorption en magnitudes de ces régions. On aura ainsi éventuellement des corrections à apporter aux intensités estimées.

2° On notera dans chaque région comparée, quelques étoiles brillantes les plus proches et qui seront plus tard des repères utiles pour l'identification des régions de la Voie Lactée.

3° L'estimation de l'intensité lumineuse de la Lumière Zodiacale est faite de préférence dans le sens horizon vers le zénith.

4° L'estimation de l'angle apparent de la base de la Lumière Zodiacale est très délicate s'il n'y a pas des étoiles visibles dans un voisinage très proche ; les valeurs trouvées seront donc sujettes à caution.

5° On note le lieu et les temps des observations, et enfin les particularités telles que la couleur, la position du sommet du cône, l'état général du ciel, le poids des observations, etc. Les observations étant terminées et supposées avoir été faites avec toutes les précautions élémentaires (obscurité complète, aucune suggestion, etc.) comme on connaît la latitude et la longitude du lieu, les AR. et les Décl. des étoiles, on calcule les hauteurs différentes des régions observées, et on rapporte les régions de la Lumière Zodiacale, à la même hauteur que les régions de la Voie Lactée qui ont servi de base de comparaison. On recherche pour chaque différence de hauteur, le coefficient d'extinction que l'on trouve dans les tables de Potsdam, Säntis, ou dans *Wis- en Natuurkundig Tijdschrift* et *Annales de l'Observatoire royal de Belgique*, 3e série t. II, où notre dévoué secrétaire, M. le professeur Vanderlinden, a publié des tables d'extinction qui sont les plus précises à l'heure actuelle. Par une circonstance fortuite, malheureusement, il m'a été impossible de me servir de ces dernières tables à défaut desquelles, j'ai dû recourir à celles de Potsdam, renseignées dans Graff, *Grundriss der Astrophysik*, p. 220. (Plus tard j'apporterai les corrections nécessaires conformément aux tables de M. Vanderlinden.)

M. B. Fessenkoff, dans les *Annales de l'Observatoire de Paris* (1918 [1]), a déjà insisté sur ces corrections ; il est donc inutile d'en souligner davantage l'importance.

Les observations étant corrigées, on recherche dans l'atlas de la Voie Lactée, l'intensité lumineuse de la région correspondante et on trace l'isophote correspondant sur le schéma de la Lumière Zodiacale. La position de cet isophote sera d'autant plus précise que les étoiles repères de la Lumière Zodiacale auront été choisies avec soin.

Dans l'atlas de Pannekoek, dont j'ai fait usage pour mes comparaisons,

(1) *An. Obs. Paris*, t. XXX, Mémoire E. pp. 1-174.

l'échelle des intensités lumineuses de la Voie Lactée n'est pas exprimée en magnitudes stellaires visuelles, mais par des nombres que Hopmann, Van Rhyn, Yntema et Pannekoek ont déterminés. Dans cette échelle la magnitude 6,5 correspond au chiffre 0 et la magniture 0 au nombre 15,75 soit 0,4 mag. par unité. Je n'ai pas dû appliquer les corrections relatives à la lumière du fond du ciel comme le préconise Yntema, car sous les tropiques où j'ai fait mes observations, le fond du ciel est tellement noir, et les coefficients de correction par conséquent si petits, qu'ils ne peuvent affecter qu'insensiblement les résultats.

En suivant la méthode que je viens d'exposer, j'ai réduit les observations que j'ai faites au Brésil, dans les environs de Campinas et Itapira, latitude australe 23° et sur l'Océan Atlantique, sous différentes latitudes comprises entre les tropiques, en 1927, mai 22, 24, 25, 26, 27 ; juin 20, 21, 24, 27, 28, 29, 30 ; juillet 19, 20, 25, 26, 27, 29 soit dix-huit soirées d'observations, avec 94 observations et 1930, mars 22, 23, 24, 25 ; avril 17, 18, 19, 20, 24, 25, 27, 28, 29, soit 91 observations, au total 185.

Les principaux champs de la Voie Lactée qui ont servi de base de comparaison, d'étalon de luminosité, étaient les suivants, indiqués par des étoiles repères :

Z_1 et Z_2, Carinae, $I_L = 6,5$.

Epsilonn Crucis $I_L = 2,9$.

Gamma Sagittarii $I_L = 9,8$.

Résultats :

1° L'intensité de la Lumière Zodiacale est constante et uniformément blanche ;

2° Il semble y avoir cinq intensités différentes limitées par les isophotes à forme elliptique situés à environ 5°, 15°, 23°, 31° et 45° de part et d'autre de l'axe central ;

3° La position du grand axe, estimée par la méthode graphique, indique une inclinaison nord d'environ 4° sur l'écliptique. En comparaison avec la valeur trouvée par Müller (0°,30′ en moyenne) cette inclinaison est fortement exagérée et devra donc être déduite par de nouvelles observations ;

4° L'isophote de la plage centrale a une valeur réduite par les calculs de 14,6 unités ou 0,4 magnitude stellaire visuelle.

L'isophote extrême de l'enveloppe, 2 unités ou magn. 5,7. Les isophotes intermédiaires (15°, 23°, 31°) ont respectivement 12,3=1 m. 4 ; 9,1=2 m. 7 ; 6,4=3 m. 9.

5° La plus grande intensité lumineuse visuelle de la Voie Lactée atteignant la valeur de 9,8 unités (près de W Sagittarii), la partie centrale de la Lumière Zodiacale lui serait donc supérieure de 4,8 unités ou 2 magnitudes stellaires visuelles, soit 6,25 fois plus lumineuse.

SUR L'ÉCLAT DE SIRIUS

par Félix de ROY

Sirius (α *Canis Majoris*) est l'étoile la plus brillante du ciel tout entier. Son éclat est égal à celui de dix étoiles du premier ordre. Elle doit cette particularité moins à sa luminosité qui, pour une magnitude absolue de 1,3, est égale à trente fois seulement celle du Soleil, qu'à sa grande proximité de notre système, dont elle n'est éloignée que de 2,6 parsecs, ou 8,6 années-lumière. C'est une étoile à hydrogène, du type spectral A 0, relativement légère, sa masse n'étant que de 3,2 fois celle du Soleil. La découverte de son compagnon de 8^m et les importantes conclusions qu'Adams a tirées récemment de l'étude photographique du spectre de celui-ci sont bien connues.

On a soupçonné la variabilité de la couleur de Sirius qui, blanche aujourd'hui, aurait été rougeâtre aux premiers siècles de notre ère, d'après le témoignage concordant d'Aratus, d'Horace et de Sénèque. Schiaparelli, et d'autres astronomes, ont contesté ce changement, attribuant les descriptions anciennes à des erreurs de traduction ou d'interprétation, mais il a trouvé des défenseurs convaincus dans plusieurs auteurs, parmi lesquels on peut citer T-J.-J. See (1) et J. Plassmann. La solution de ce problème, qui relève plutôt de la philologie classique, est encore en suspens.

On peut se demander cependant si, dans la supposition où la couleur de Sirius aurait changé dans le laps de temps relativement bref de quelques siècles, son éclat n'aurait pas également subi des modifications. M. W.-H. Pickering (2) a indiqué en 1908, d'après ses observations photométriques à la Jamaïque, la possibilité qu'une autre étoile brillante, Arcturus (type K), soit une variable à faible amplitude, et que sa couleur, « comme celle de Sirius », soit sujette à des changements. Quelques observateurs ont signalé que, pendant certains hivers, Sirius leur avait paru moins brillant que d'habitude. M. Georges Craig, F. R. A. S., de Glasgow, dans une lettre qu'il m'adressa en 1928, a suggéré la possibilité de variations, sans se prononcer sur leur caractère.

Sans préjuger de cette hypothèse, il est donc peut-être intéressant de réunir et de discuter les principales observations de l'éclat de Sirius. Son grand éclat le désignant naturellement pour de telles expériences, α *Canis Majoris* a été, depuis très longtemps, l'objet de comparaisons avec d'autres astres, principalement avec le Soleil et la Lune, soit directement, soit par l'intermédiaire d'autres sources de lumière.

Voici les plus connues de ces mesures (3). L'éclat de Sirius est indiqué

en fonction de celui du Soleil. Nous en avons déduit sa magnitude stellaire, en adoptant pour la magnitude stellaire du Soleil la valeur −26,6, moyenne de plusieurs mesures [4], et qui est aussi celle de la détermination la plus récente et probablement la plus exacte, celle de W. CERASKI [5].

Auteur	*Date*	*Soleil*	*Sirius*	*Procédé*
Chr. Huygens	1698	756×10^6	$-4^m,4$	Soleil, diaphragme
J. Michell	1767	9.216	$-1^m,7$	—
W. H. Wollaston	1829	20.000	$-0^m,8$	Bougie, sphère
C. A. Steinheil	1836	3.840	$-2^m,6$	Lune, diaphragme
G. P. Bond	1861	5.970,5	$-2^m,2$	Sphère de verre
A. Clark	1863	3.600	$-2^m,7$	—

L'incertitude de ces mesures, obtenues indirectement à l'aide de photomètres rudimentaires, est évidemment très grande ; elles devaient fournir des valeurs exagérées de l'éclat de Sirius et n'indiquent sans doute pas que l'étoile ait varié. Sauf peut-être celle de Michell, elles ne présentent qu'un intérêt historique.

Il semble qu'on ne doive pas ranger dans cette catégorie les observations de Sir John Herschel. Celles-ci ont été obtenues, il est vrai, avec un photomètre peu perfectionné, l'astromètre, et en prenant la Lune pour terme de comparaison. Mais, ayant été faites au Cap de Bonne Espérance, où Sirius culmine à grande hauteur, par un observateur exercé qui n'a pas épargné les mesures, elles présentent une valeur spéciale dont témoignent du reste leur accord entre elles, et l'erreur probable de $\pm 0^m,06$ qu'en a déduit ZÖLLNER [6]. Nous les rangerons donc avec les premiers résultats obtenus par la photométrie instrumentale :

Auteur	*Lieu*	*Date*	*Sirius*	*Photomètre*
John erschel	Le Cap	1836	$-1^m,52$	Astromètre
L. Seidel	Munich	1844-60	$-1^m,68$	A prisme
C. Pritchard	Oxford	1880	$-0^m,95$	A coin
Moyenne.			$-1^m,38$	

Les valeurs ci-dessus ont été ramenées à l'échelle photométrique d'Harvard [7] ; elles sont donc comparables entre elles et avec les mesures suivantes. La faible valeur obtenue par Pritchard n'est pas confirmée par celles obtenues presque au même moment par E.-C. Pickering, et doit donc être attribuée à une erreur systématique ou accidentelle résultant du grand éclat de Sirius.

Les observations les plus nombreuses de cette étoile, d'où a résulté la valeur de $-1^m,6$ qu'on lui attribue communément aujourd'hui, ont été effectuées à l'Observatoire d'Harvard College, par E.-C. Pickering et ses élèves. Il n'est pas inutile de les détailler afin de se rendre compte de la façon dont cette valeur a été obtenue. Les voici :

	H. A.	*Sirius*	*Photomètre*	*Date*	*Nombre de mesures*
(1)	**14**, 152	$-1^m,43$	2 pouces	1879-1882	16
(2)	**24**, 215	$-1^m,76$	4 pouces	1882-1888	4
(3)	**44**, 34	$-1^m,67$	4 pouces	1891-1894	7
(4)	**46**, 100	$-1^m,46$	4 pouces	1899	8
(5)	**50**, 67	$-1^m,58$	—	1879-1899	35

Chaque « mesure », effectuée habituellement une nuit différente, est la moyenne de quatre pointés (settings) au photomètre méridien, par comparaison avec diverses étoiles circumpolaires.

L'examen des vingt-cinq résidus publiés des mesures individuelles est instructif. Leur moyenne, pour les quatre séries, est respectivement, en ne tenant pas compte des signes, de $0^m,29$, $0^m,29$ (une mesure incomplète), $0^m,25$ et $0^m,08$, mais on en rencontre qui vont jusque 4 dixièmes (trois cas), 5 dixièmes (un cas) et même 6 dixièmes de magnitude (deux cas). Ces données indiquent bien la grande difficulté de la mesure de l'éclat d'un objet aussi brillant.

Incontestablement, les séries (2) et (3), qui ont donné les plus fortes valeurs pour l'éclat de Sirius et qui ont contribué pour une bonne part à élever sa valeur « définitive » à $-1^m,58$, méritent le moins de confiance La série (2) est basée sur quatre mesures seulement, dont une incomplète, la série (3) renferme les plus forts écarts et porte en note (p. 106) : « Trop brillante pour une comparaison satisfaisante avec λ *Ursae Minoris*. La magnitude qui en résulte, $-1,67$, est probablement trop brillante. »

Par contre, la série (4) emporte sans doute le poids le plus élevé. Elle a été effectuée à Arequipa (Pérou) à l'altitude de 2.452 mètres, où Sirius culmine à bonne hauteur, par comparaison avec σ *Octantis* ; aucun de ses résidus ne dépasse $0^m,16$, ce qui est fort remarquable, et quatre sont inférieurs à $0^m,10$. C'est probablement une des meilleures séries de mesures de l'éclat de Sirius qui ait jamais été faite.

La valeur de $-1^m,46$ qui en résulte se rapproche beaucoup de la série (1), obtenue, il est vrai, avec un instrument plus petit (ce qui n'est peut-être pas un désavantage dans ce cas) et qui est la moyenne d'un plus grand nombre de mesures. Elle est en outre en bon accord avec les mesures de Sir John Herschel au Cap.

J'ajoute que j'ai effectué l'hiver dernier, pendant six nuits, quelques comparaisons de Sirius avec Rigel, Procyon et Aldébaran, à l'aide d'un coin photométrique bleuté provenant de la succession de M. le sénateur A. Van den Nest, et monté sur une petite lunette de 61 mm. Faute de mouvement d'horlogerie, on a employé le procédé imaginé par E. Kayser et repris par E.-C. Pickering. Il consiste à compter le nombre de secondes qui s'écoule entre l'apparition de l'étoile dans le champ et son extinction définitive, le coin étant parallèle au mouvement diurne. Bien que rendues difficiles par la scintillation et par le grand éclat de Sirius, ces observations ne sont peut-être pas tout à fait dépourvues de valeur. La moyenne arithmétique de trente-deux mesures a fourni le chiffre de

$-1^m,4$, avec un écart moyen de $0^m,3$. L'extinction a été calculée avec la table IV.B de M. H. VANDERLINDEN (8). Six mesures tout à fait discordantes ont été rejetées.

Sans que cette analyse permette de se prononcer sur une variabilité possible de l'éclat de Sirius, en raison de l'incertitude relative de sa mesure, il semble qu'elle puisse conduire à l'adoption, pour la plus brillante étoile du ciel, d'un éclat moyen *un peu plus faible* que celui communément adopté d'après la *Revised Harvard Photometry*.

Celle-ci publie du reste les résidus de l'Uranométrie de M. Bailey, effectuée en 1892-1894 à Cambridge (Mass.) et à Arequipa. Ils donnent pour Sirius la valeur concordante de $-1^m,4$.

Cette correction n'est pas sans importance au point de vue astrophysique. Dans le cas de *Nova Aquilae*, 1918, par exemple, qui, d'après M. Léon CAMPBELL, atteignit la magnitude $-1^m,0$ (9), de nombreux observateurs américains, faute de mieux, estimèrent l'éclat maximum de cet objet remarquable en comparaison avec le souvenir qu'ils avaient de celui de Sirius.

---

(1) *A. N.*, **229**, Sondernummer (1927).

(2) *H. A.*, **61**, 70 (1908).

(3) D'après J. C. HOUZEAU, *Vade-Mecum de l'Astronome*, 85 (1882,

(4) *B. A. A., Observer's Handbook*, 37 (1930).

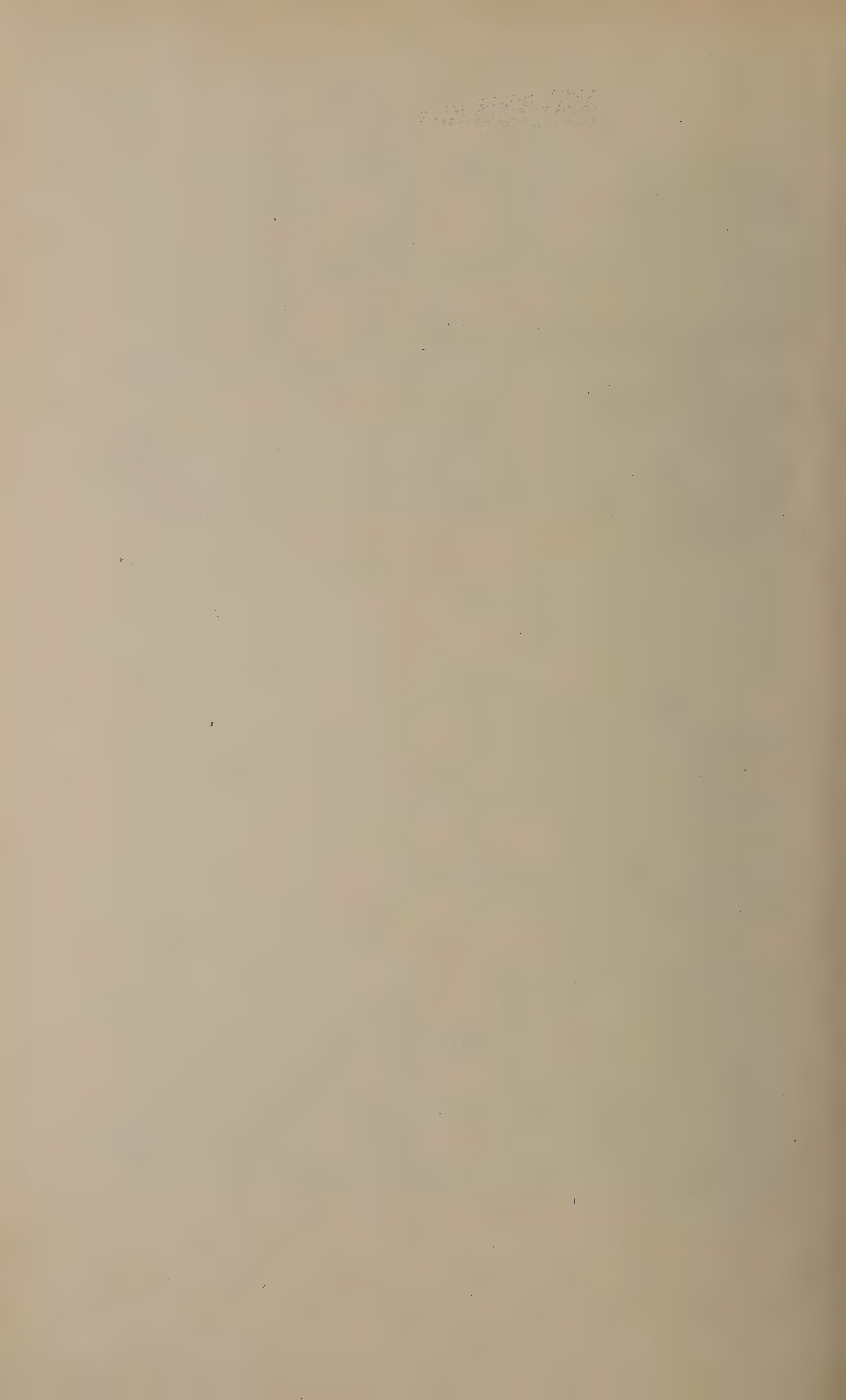
(5) *A. N.*, **170**, 135 (1906).

(6) *Photometrische Untersuchungen*, 176 (1865).

(7) *H. A.*, **14**, 408 (1885).

(8) *Annales de l'Obs. Royal de Belgique*, 3e série, **2** (1924).

(9) *H. A.*, **81**, 177 (1920).



5[e] Section : Géodésie et Géophysique

Président : le Général SELIGMANN.
Vice-présidents : MM. MAURY, JAUMOTTE, SOMVILLE.
Secrétaire : M. A. LETROYE.

SÉANCE DU MARDI 1[er] JUILLET, À 9 H. 30.

Présidence : M. JAUMOTTE.

Communications :

M. JAUMOTTE : *Sur l'anémomètre de Robinson.*

M. DE SAEDELEER : *Réflexions au sujet de l'étude de certains phénomènes électriques de l'atmosphère.*

Discussion. — M. Jaumotte croit qu'il ne faut pas considérer isolément les phénomènes électriques atmosphériques mais les étudier en étroite corrélation avec les phénomènes météorologiques.

A 11 heures. — Séance commune avec la Section d'Astronomie.

Communication de MM. Merlin et Moreau (v. section d'Astronomie).

SÉANCE DU MERCREDI 2 JUILLET À 9 HEURES.

Présidence : M. MAURY.

Communications :

Général SELIGMANN : *Les nivellements en Belgique.*

M. MAURY : *Situation des travaux géodésiques en Belgique.*

M. LETROYE : *Organisation et activité du bureau des calculs géodésiques à l'Institut Cartographique Militaire.*

M. ALLIAUME : *L'étendue du terrain topographique.*

M. LAGRANGE : *La commission météorologique congolaise.*

M. MAURY : *Situation des travaux géodésiques au Congo Belge.*

Vœu émis par la Section au sujet des nivellements en Belgique (voir Assemblée Générale).

SUR L'ANÉMOMÈTRE DE ROBINSON

par J. JAUMOTTE,

Directeur de l'Institut Royal Météorologique.

Les anémomètres à rotation modernes se divisent en deux classes :

1° Les appareils à axe parallèle au vent dont le type le plus répandu est l'anémomètre Richard à palettes hélicoïdales ;

2° Les appareils à axe perpendiculaire au vent qui ne se rencontrent plus guère que sous la forme du moulinet Robinson, à quatre coupes hémisphériques.

A première vue les anémomètres à palettes hélicoïdales semblent supérieurs, notamment, parce qu'il paraît quasi évident que la vitesse de rotation doive être sensiblement proportionnelle à la vitesse du vent.

Au contraire, en ce qui concerne le moulinet Robinson, on sait depuis plus de cinquante ans que la loi simple de proportionnalité, proposée par l'inventeur est grossièrement approchée. Si nous appelons n le nombre de tours par unité de temps, V la vitesse du vent, on peut représenter avec une approximation suffisante le fonctionnement du moulinet par la formule $V = a + bn + cn^2$; les coefficients a, b, c variant avec chaque modèle d'instrument.

Le coefficient a est inévitable : il existe pour tous les appareils à rotation et est dû évidemment au frottement.

Le coefficient c est plus gênant. Il importe de s'en débarrasser ou tout au moins de le réduire à une valeur négligeable, dans les limites des vitesses à mesurer.

Cette condition étant réalisée, le moulinet Robinson est supérieur au moulinet hélicoïdal. Ce dernier doit évidemment être porté par une girouette. Or, lorsque la turbulence est forte, la direction du vent varie constamment dans un secteur assez large. La girouette toujours en retard, n'est pour ainsi dire jamais orientée correctement. De plus, à la hauteur normale des anémomètres, les variations horizontales de direction du vent s'accompagnent de variations aussi considérables de l'inclinaison, ainsi que l'a montré Taylor dans une étude sur la turbulence. Finalement, on ne sait plus exactement ce que mesure dans ces conditions, le moulinet hélicoïdal.

Les indications en sont probablement déficitaires.

Les moulinets Robinson échappent en grande partie à cet inconvénient car les variations rapides et continues de la direction horizontale n'ont

vraisemblablement que peu d'influence. D'autre part, Brazier (¹) a montré que lorsque l'inclinaison du vent varie de ± 40° sur l'horizon, le moulinet à coupe indique la composante horizontale avec une erreur qui ne dépasse pas 7%, tandis que pour une variation de ± 30°, le moulinet hélicoïdal indique un écart de 23 à 28 % suivant la vitesse et le type de moulinet.

De nombreux travaux ont été publiés sur l'anémomètre Robinson. Un des derniers et des plus importants est celui de Brazier que nous citons plus haut.

Au cours de ces recherches, ce savant a étudié notamment une *famille* de moulinets, constitués de quatre coupes de 61,5 mm. de diamètre fixées par quatre bras en tiges d'acier rondes de 3,5 mm.

Les coupes sont rivées aux tiges, par le dos (construction Richard). Les appareils ne diffèrent que par la longueur des tiges, autrement dit par les diamètres des moulinets, comptés de centre à centre. Les formules données par l'auteur, ainsi que les caractéristiques des moulinets sont reproduites dans le tableau ci-dessous.

Désignation des moulinets	Diamètres	Formules $V = a + b\,n + cn^2$
E	402	$V = 1{,}51 + 3{,}347\,n - 0{,}047\,n^2$
F	316	$= 1{,}59 + 2{,}552\,n - 0{,}023\,n^2$
G	240	$= 1{,}30 + 1{,}994\,n - 0{,}018\,n^2$
H	159	$= 1{,}28 + 1{,}287\,n - 0{,}0014\,n^2$
I	79	$= 0{,}85 + 0{,}604\,n + 0{,}0014\,n^2$

Présentées sous cette forme, les formules ne sont pas comparables, en ce qui concerne le terme en n^2. Or, le problème essentiel consiste à chercher les meilleures proportions à donner à l'instrument pour rendre la formule linéaire.

Pour permettre une comparaison aisée, supposons que, par un dispositif mécanique (jeu d'engrenage, par exemple) nous ramenions le coefficient b à la valeur 1. La rotation de l'anémomètre devra être démultipliée dans le rapport $\frac{n}{n'} = \frac{1}{b}$ et la rotation n' servira en définitive à mesurer le vent. La formule ainsi transformée deviendra

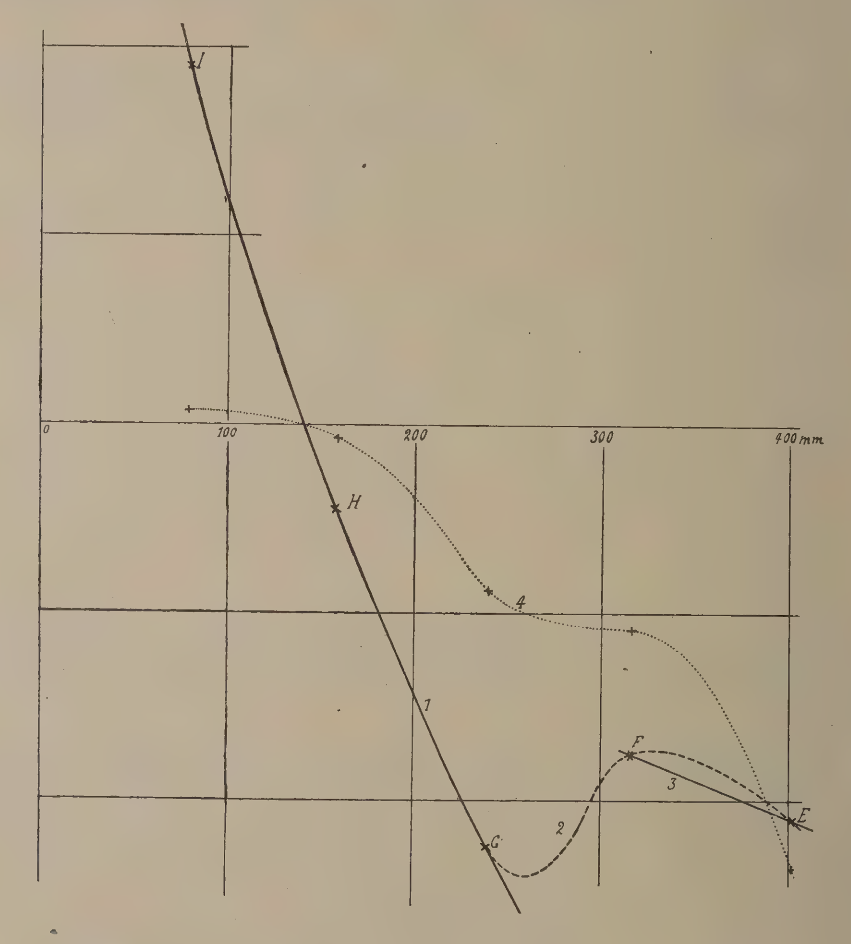
$$V = a' + n' + c'n'^2 \text{ avec } n' = nb \text{ . et } cn^2 = \frac{c \cdot n'^2}{b^2} = c'\,n'^2$$

(¹) G. E. Brazier, *Recherches expérimentales sur les moulinets anémométriques* (*Annales du Bureau Central Météorologique de France* [1914]).

En effectuant les calculs, on trouve :

$$\begin{array}{ll} E & V = 1{,}51 + n' - 0{,}0042\ n'^2 \\ F & \quad = 1{,}59 + n' - 0{,}0035\ n'^2 \\ G & \quad = 1{,}30 + n' - 0{,}0045\ n'^2 \\ H & \quad = 1{,}28 + n' - 0{,}00085\ n'^2 \\ I & \quad = 0{,}85 + n' - 0{,}0034\ n'^2 \end{array}$$

La fiugre représente (Courbes 1, continuées par la courbe 2) la valeur du coefficient c' en fonction du diamètre du moulinet.



Le caractère compliqué de cette courbe frappe immédiatement. Mais il est à remarquer que les moulinets E et F outre les organes décrits plus haut, ont un cercle de renforcement qui relie les quatre bras. *Il est probable que l'anomalie de la courbe est due à cette particularité de construction.*

Elle pourrait évidemment s'expliquer par un changement de régime

dans l'écoulement de l'air. Mais cette hypothèse est peu probable en raison de la coïncidence qu'elle impliquerait.

Cette particularité apparaît également, mais d'une manière moins frappante sur la courbe 3 qui donne, en fonction du diamètre, les coefficients c de Brazier.

Elle fait apparaître une des raisons pour lesquelles les résultats des divers expérimentateurs sont assez peu concordants et elle montre *avec quel soin il est nécessaire de décrire les instruments expérimentés.*

Il est inutile, pensons-nous, de chercher une explication aérodynamique du phénomène. Au point de vue de l'écoulement des filets, le moulinet Robinson est un corps très compliqué dont les diverses parties réagissent les unes sur les autres d'une manière imprévisible.

Les moulinets E et F doivent donc être considérés comme formant une famille différente de celle des trois autres. Et encore les deux seuls membres en sont-ils disparates, le cercle de renforcement de E ayant 178 mm. de diamètre et celui de F, 158 mm. On pourrait peut-être leur appliquer la courbe 3 qui tendrait à montrer que le cercle de renforcement est à éviter si l'on veut supprimer le cofficient c. Nous n'osons cependant nous appesantir sur cette conclusion qui résulte d'une extrapolation vraiment trop hasardeuse.

La courbe 1 montre que le moulinet à formule linéaire (coefficient $c'=0$) devrait avoir un diamètre de *142 mm.* Brazier, remarquant que le coefficient b est une fonction linéaire du diamètre, a essayé un moulinet H de *122 mm.*, qui devait donner pour b une valeur sensiblement égale à 1 et un coefficient c quasi-nul.

D'après notre graphique, la formule de cet anémomètre devrait être

$$V=x+n'+0{,}001\ n'^2$$

Brazier trouve $$V=0{,}72+0{,}959\ n.$$

Il est vrai qu'il a posé à priori que la formule *devait* être linéaire et que, avec des valeurs de C' aussi faibles, un choix judicieux des coefficients a et b donne une formule linéaire d'excellente approximation.

En résumé, pour l'étude expérimentale des moulinets de Robinson, si l'on cherche à supprimer le terme en n^2, il convient de rapporter les expériences à la formule $V=a+n'+c'n'^2$ qu'aurait chaque anémomètre convenablement démultiplié.

De plus, il importe au plus haut point, pour avoir des résultats comparables d'opérer sur des instruments dont on ne fait varier qu'une donnée à la fois.

Remarquons en outre qu'il est toujours hasardeux d'appliquer les résultats d'un expérimentateur à des types d'instruments qui diffèrent de ceux essayés par un détail en apparence accessoire. Par exemple, on risquerait des mécomptes en appliquant les résultats du travail consciencieux de Brazier à des moulinets à bras fuselés ou bien dont les bras occupent le diamètre des coupes (construction courante).

RÉFLEXIONS AU SUJET DE L'ÉTUDE DE CERTAINS PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES DE L'ATMOSPHÈRE

par A. DE SAEDELEER,

Professeur à l'Athénée de Bruges.

Nous sommes déjà loin du moment où, pour étudier les charges de l'atmosphère, Becquerel et Breschet lancèrent des flèches reliées au spectroscope à feuilles d'or.

Cependant, les rapides progrès réalisés dans le domaine des radiocommunications nécessitent une nouvelle étude de l'électricité atmosphérique.

La question touche à la fois à la météorologie et à la physique. Un examen attentif des derniers travaux publiés à ce sujet, nous montre que cette nouvelle branche de la physique du Globe en est encore à ses débuts.

Malgré cela, les recherches des quelques rares pionniers travaillant ce domaine sont déjà tellement nombreuses qu'il serait difficile de les citer toutes dans cet exposé forcément très limité.

Je me bornerai à signaler les observations remarquables de M. Lejay qui étudia des parasites atmosphériques en rapport avec les orages, observations faites à l'Observatoire du Pic du Midi.

En se servant de montages à lampes, ce chercheur a longuement étudié ces phénomènes et nous a montré combien leur étude est délicate et complexe.

L'énergie des décharges orageuses est généralement importante et le nombre de parasites considérable.

Les tracés très fouillés que donne l'enregistrement photographique rendent la question extrêmement brouillée et il est impossible d'arriver à une conclusion bien nette.

De son côté, M. Pollet a attaqué le problème d'une autre manière. Il a fait dans le Nord de la Chine une étude très complète des vents de poussière qui, à certaines époques de l'année, passent sur les plaines immenses de ces régions.

Comme le montre clairement M. Pollet, les particules de poussière extrêmement ténues et nombreuses soulevées par ces vents violents prennent par frottement contre les obstacles naturels des charges négatives de l'ordre de $4,4 \times 10^{-8}$ U. E. S. C. G. S. (1).

(1) *Comptes rendus*, **188**, 406 (1929).

Grâce à l'extrême sécheresse de l'air ces particules gardent parfaitement leur charge et peuvent en se déposant sur un conducteur isolé porter ce dernier à un potentiel très élevé.

Le potentiel atmosphérique qui normalement est positif diminue rapidement au cours du vent et prend au bout de quelques heures une valeur négative qui peut atteindre 385 volts.

A la fin du vent il reprend sa valeur positive normale.

Ces phénomènes ont été observés avec un maximum de précautions et nous pouvons affirmer que la question de la variation du potentiel atmosphérique durant les vents de poussière a été traitée entièrement grâce aux travaux de M. Pollet.

Mais il en est tout autrement lorsque l'auteur aborde la question des parasites atmosphériques.

Ces parasites sont déjà détectés plusieurs heures avant le vent et leur nombre est très considérable lorsque ce dernier souffle avec violence.

L'observateur a fait usage d'un dispositif décrit par M. Lejay et qui comporte une antenne reliée à la grille d'une lampe. Un galvanomètre et une forte batterie sont intercalés dans le circuit filament-plaque.

En temps normal ce montage enregistre les parasites mais les courbes ainsi obtenues, comparées à celles données par l'enregistrement des variations du potentiel atmosphérique ne donnent aucun résultat complet.

Durant le vent la méthode se montre absolument insuffisante.

En effet, le potentiel de l'antenne prend rapidement une valeur suffisante pour provoquer une décharge à l'intérieur de la lampe.

On évite cet inconvénient en shuntant l'intervalle filament-grille au moyen d'une forte résistance, mais alors le dispositif enregistre également les variations du potentiel atmosphérique et il est impossible de retrouver les parasites dans la courbe fortement agitée, correspondant à ces variations.

Les difficultés insurmontables rencontrées par M. Pollet montrent clairement que pour étudier les parasites durant les vents de poussière, on doit absolument abandonner la détection par lampe.

En remplaçant dans les montages la détectrice par un cristal, les parasites s'enregistrent parfaitement et l'inconvénient de la décharge brusque de l'antenne disparaît. On amplifiera au besoin.

De cette manière l'enregistrement devient possible non seulement avant et après mais également durant le vent.

Tout en attendant une étude plus approfondie de la question, nous pouvons conclure que les observations simultanées des parasites et des variations du potentiel atmosphérique n'ont donné jusqu'à ce jour que de vagues indications.

En analysant convenablement la question, il n'est pas difficile de constater que l'une des causes les plus importantes d'insuccès réside dans les montages employés.

Vu le nombre considérable de décharges se succédant très rapidement,

on doit avoir recours aux montages apériodiques et même à l'oscillographe cathodique.

Or, les montages apériodiques conviennent parfaitement lorsqu'il s'agit de mesurer les variations du potentiel atmosphérique mais leur emploi peut être discuté pour l'étude d'une décharge.

L'étude des parasites se heurte donc à d'énormes difficultés et il est à espérer que, dans un avenir rapproché, le perfectionnement des instruments de mesure permettra aux spécialistes de l'électricité atmosphérique de nouvelles tentatives qui, nous l'espérons, seront alors couronnées de succès. Une autre question qui mérite toute notre attention est la nature de la décharge.

A ce sujet les avis sont très partagés ; les uns admettant le caractère oscillatoire de la décharge et les autres, au contraire, la supposant apériodique.

Rien ne permet cependant de prouver que l'une ou l'autre de ces hypothèses correspond à la réalité à l'exclusion de la seconde.

Le caractère de la décharge dépend nécessairement de la nature du milieu à travers lequel elle se produit et de la capacité des corps portant les masses électriques qui entrent en jeu.

Elle sera oscillatoire ou continue suivant le cas.

Nous voyons donc que l'étude des phénomènes électriques, dont notre atmosphère est le siège, est loin d'être achevée.

Néanmoins, le travail de M. Pollet constitue déjà un bel édifice dans ce cycle de questions importantes. Mais, hâtons-nous de le dire, il serait hautement souhaitable de voir d'autres observateurs aborder également ce grand problème de la répartition des charges de l'atmosphère et surtout, et avant tout, du transport de ces masses électriques.

En groupant les observations relatives à différentes partie du globe situées sur le passage des grands courants aériens on pourrait aborder le problème en son ensemble.

LES NIVELLEMENTS EN BELGIQUE

par le Général SELIGMANN

Directeur général honoraire de l'Institut Cartographique Militaire

---

I. NIVELLEMENT DES PONTS ET CHAUSSÉES

Le premier nivellement assez étendu qui fut exécuté en Belgique fut celui des Ponts et Chaussées entrepris vers 1840 par M. Sano, conducteur des Ponts et Chaussées, principalement en vue de l'établissement des voies ferrées. Il comprend des cheminements le long des chemins de fer : d'Ostende à Gand, Malines, Louvain Liége, Aix-la-Chapelle ; d'Anvers à Bruxelles, Braine-le-Comte et les bifurcations vers Mons et Charleroi, Namur ; de Gand à Courtrai et Tournai ; ensuite le long de certains canaux : de Passchendaele à Nieuport ; du canal de Condé, du canal de la Campine ; aussi le long de certaines grand'routes : Namur, Neufchâteau, Arlon ; Liége, Bastogne, Neufchâteau ; Tirlemont, Diest, Hasselt, Maeseyck, enfin la plupart des vallées des rivières et certaines crêtes ont été relevées.

Les cotes obtenues sont indiquées sur une carte au 160.000e en huit feuilles, éditée en 1848 par les établissements Ph. Vandermaelen pour le département des Ponts et Chaussées.

L'on ne possède que peu de renseignements sur ce nivellement qui est assez vaste, il paraît avoir été fait avec soin, à l'aide des meilleurs instruments de l'époque [1] et il a répondu à sa destination. Sa précision est discutable si l'on s'en rapporte à certaines constatations faites lors du nivellement général du Dépôt de la Guerre qui a suivi.

L'on retrouve les traces de ce nivellement dans les pierres de repère encastrées dans les murs de certains bâtiments ; les anciennes stations de chemins de fer, par exemple. Les cotes ont été prises par rapport au niveau des basses mers à Ostende.

II. LE NIVELLEMENT GÉNÉRAL

Le nivellement le plus important fut le nivellement général entrepris par le Dépôt de la Guerre pour la construction de la carte topographique du pays ; il s'est appuyé pour le point de départ et pour les contrôles, sur les cotes fournies par le nivellement des Ponts et Chaussées.

[1] Le niveau Lenoir.

Ce nivellement fait l'objet du volume publié en 1879 par l'Institut Cartographique Militaire sous le titre *Nivellement général du Royaume de Belgique, Nivellement de base* et d'une série d'opuscules donnant par province, les cotes des repères.

L'on trouve aussi des renseignements fort intéressants sur ce nivellement dans la *Notice sur les travaux topographiques exécutés au Dépôt de la Guerre de Belgique* par le lieutenant-colonel Henrionnet.

Ce nivellement comprend deux catégories de travaux, d'abord une série de nivellements partiels ou locaux exécutés de 1839 à 1856, ensuite un nivellement méthodique général couvrant tout le reste du pays.

Ces nivellements de la première catégorie comprennent :

1° Un nivellement dans le Luxembourg et le Limbourg, nécessaire pour les travaux de la délimitation des frontières exécuté en 1839 ;

2° Le nivellement des environs de Bruxelles, exécuté de 1840 à 1843 ;

3° Celui des champs de bataille de Ramillies et de Neerwinden, fait en 1844 ;

4° Celui du camp de Beverloo et des environs en 1847, 1850, 1852 ;

5° Celui des environs d'Anvers de 1853 à 1856.

Le point de départ du nivellement des environs de Bruxelles fut la tablette du pont Léopold sur le canal à l'entrée de l'Allée Verte. L'administration des Ponts et Chaussées avait déduit la cote de ce point de celle des rails dans la station de l'Allée Verte. Ce pont placé dans le prolongement du boulevard d'Anvers, passait au dessus du canal de l'Allée Verte se reliant à cet endroit au bassin qui a été supprimé comme conséquence de la construction de la place Sainctelette [2].

La cote assignée à ce point fut 16 m. 81 au-dessus du niveau moyen des basses mers aux vives eaux à Ostende.

Le développement de ce nivellement est de 222 kilomètres.

Le nivellement des champs de bataille de Ramillies et de Neerwinden fut nécessité par le levé topographique de ces champs de bataille, fait à la demande du Gouvernement français. Le nivellement du champ de bataille de Ramillies se développe sur 83 kilomètres, celui de Neerwinden sur 135.

Le camp de Beverloo nécessita un travail plus long, fait en plusieurs fois, ce nivellement compte 399 kilomètres.

Ces trois nivellements furent appuyés sur un point de repère des Ponts et Chaussées placé sur la première fenêtre de la remise des locomotives de la station de Tirlemont.

Vient ensuite le nivellement qui devait servir de base au levé des environs de la place d'Anvers, il s'appuie sur une base constituée par un cheminement reliant l'église d'Assche à Louvain en passant par Bruxelles

[2] Un nivellement a été fait en 1911 pour déplacer le repère du Pont Léopold qui a été remplacé par un nouveau repère constitué par un rivet en cuivre, fixé dans un pilier du nouveau pont de la place Sainctelette.

et Cortenberg, la cote du repère de Louvain étant fournie par les ponts et chaussées.

De cette base, cinq grandes lignes de nivellement partent vers le Nord et font leur jonction près de la frontière hollandaise, formant de cette manière six polygones qui se développent du 1.560 kilomètres. C'est donc le plus important de ces nivellements locaux, il recoupe assez exactement les repères du nivellement des environs de Bruxelles, mais accuse une différence moyenne de 0 m. 4061 avec les autres, ce qui devait provenir d'une discordance entre le repère de départ des Ponts et Chaussées à Tirlemont et celui de Louvain.

Tous ces nivellements locaux forment ce que le volume sur le *Nivellement général du Royaume de Belgique* appelle, comme nous l'avons fait, les opérations de première catégorie. Celles de la deuxième catégorie, sont celles qui ont été faites directement en vue de l'exécution de la carte du pays. Elles comprennent :

1° Les recherches relatives à la détermination des plans de comparaison ;

2° La liaison directe d'Ostende aux nivellements antérieurs ;

3° L'achèvement régulier des travaux ;

4° Les nivellements raccordant la Belgique et les pays voisins ;

5° La vérification des nivellements entre Ostende et Bruges.

Nous nous occuperons seulement maintenant de la liaison directe avec Ostende et de l'achèvement régulier des travaux.

Pour le raccordement en 1856, on part de Zele — qui fait partie du nivellement des environs d'Anvers — et l'on exécute un cheminement par Gand et Bruges, le long du canal à grande section jusqu'à Ostende. La tablette du bajoyer de l'Ecluse des bassins du commerce d'Ostende qui avait été le point de départ du nivellement des Ponts et Chaussées avait été cotée 6 m. 45 ; le cheminement ne retombe pas sur sur cette cote, mais trouve 5 m. 82 ; d'où discordance de 0 m. 63.

Pour vérification, on refait un autre cheminement, qui arrive à 0 m. 1415 de différence avec le premier ; pour se fixer définitivement, on exécute un troisième cheminement par un autre itinéraire avec points communs aux deux pour le contrôle, ce dernier cheminement n'accuse que 0 m. 0163 de différence avec le premier cheminement.

En combinant les différences trouvées ainsi que les discordances avec les cotes des nivellements des environs d'Anvers, l'on fixe en conclusion, la cote de départ de Bruxelles-Pont Léopold à 17 m. 2453 au lieu de 16 m. 8100 et l'on corrige toutes les cotes du nivellement de Bruxelles de la différence 0 m. 4353. Après un cheminement polygonal exécuté en 1859, les cotes des autres nivellements locaux dépendant du point de départ de Tirlemont furent augmentées de 0 m. 8475.

A partir de 1857, le nivellement fut poursuivi et achevé régulièrement pour toute la Belgique. La partie du pays qui n'était pas couverte par les

nivellements locaux, fut divisée en 25 polygones complétés par des traverses et des profils, le travail fut achevé en 1873.

Tous ces nivellements, tant ceux de la première catégorie que ceux de la deuxième, furent exécutés à l'aide des instruments suivants : le niveau à plateau de Lenoir ; le grand niveau à fourche de Beaulieu ; le niveau de Brunner. Les mires furent les mires parlantes de 4 mètres en bois se repliant en deux mètres, avec niveau et fil à plomb.

Les repères étaient constitués par des seuils de portes, des appuis de fenêtres, des bornes kilométriques, des bordures en pierre de taille, des tablettes de ponts et autres objets du même genre.

Les cheminements étaient divisés en parties, celles-ci comprises généralement entre deux repères, étaient nivelées deux fois, une fois à l'aller et une fois au retour.

L'erreur de fermeture tolérée était de $0{,}004 \times \sqrt{K}$, K étant le nombre de kilomètres nivelés. Pour la répartition de l'erreur par kilomètre l'on employait la formule $\frac{\varepsilon}{2\sqrt{K}}$

Cette formule est celle de l'erreur moyenne, mais elle paraît assez mal appliquée. Ainsi, par exemple, le tableau concernant le nivellement des environs de Bruxelles, totalise le nombre de kilomètres ainsi que les corrections et les erreurs moyennes trouvées par la formule ci-dessus, puis, prenant comme base les dix divergences, divise chacun des totaux par dix, les donnant comme moyenne ; l'on trouve ainsi, comme moyenne des erreurs moyennes 0,0028, tandis que si l'on applique au total des divergences 0,2127 la formule $\frac{\Delta}{2\sqrt{K}}$ nous trouvons 0,0071, valeur sans doute encore trop faible, car il n'est pas tenu compte de l'erreur de fermeture, indiquée comme nulle.

L'ε dont on se sert est en effet, la discordance trouvée entre la cote trouvée lors du nivellement, et celle qui lui était assignée par le nivellement des Ponts et Chaussées. Or, comme tous les repères ne correspondent pas à des repères des Ponts et Chaussées, il se fait, par exemple, pour ce nivellement, des environs de Bruxelles, que sur 22 repères du nivellement, il y en a huit qui appartiennent aux Ponts et Chaussées, deux d'entre eux étant recoupés une seconde fois, cela fait dix discordances, chiffre qui a été pris pour calculer la moyenne alors que pour avoir une idée exacte, il aurait fallu tenir compte des discordances sur 22 repères.

Signalons encore que de ce nivellement des environs de Bruxelles, 9 repères ont été levés en 1840, 7 en 1842 et 6 en 1843.

Il en est ainsi pour tous les nivellements de la première catégorie.

Le nivellement régulier fait à partir de 1857 fut conduit de façon plus méthodique, plus sûre, avec plus de continuité, mais comme il s'accroche en maints endroits aux nivellements de la première catégorie, que le calcul de ces erreurs moyennes se fait d'après les discordances avec ces repères ou ceux du nivellement des Ponts et Chaussées, l'on ne peut lui prêter beaucoup meilleur crédit.

Tout cet ensemble, nivellements locaux et polygones du nivellement régulier forment le *Nivellement général* sur lequel devait s'appliquer le nivellement de détail nécessaire à la construction de la carte. Et pour amalgamer ces opérations, de façon à ce que chaque point n'eut qu'une cote bien déterminée, quel que soit le chemin par lequel on y arrive, l'on fait une compensation de tout cet ensemble de nivellements. La méthode des moindres carrés arrange bien des choses.

Nous ne donnerons pas de détails sur ce travail qui est exposé dans le volume *Nivellement général*, p. 53.

Je dirai simplement qu'il a été formé un grand polygone enveloppe, le long de la frontière et des directions principales et cinq polygones intérieurs ce qui a conduit à l'établissement et à la résolution de 755 équations de conditions et de 362 équations normales, l'erreur probable finale a été trouvée égale à 0 m. 0389 ce qui n'est pas exagéré.

Tout bien considéré, le nivellement présentait suffisamment de garantie pour le levé du nivellement de détails nécessaire à l'établissement de la carte topographique du pays, devant donner le relief par des courbes de niveaux équidistantes de un mètre.

Raccordements avec les pays voisins

Le nivellement général fut complété par des raccordements aux pays voisins.

La surface de comparaison du nivellement général a été prise au niveau des basses mers à Ostende aux vives eaux ordinaires. D'après les Ponts et Chaussées, ce niveau se trouvait à 1 m. 48 au-dessus du busc de l'écluse du bassin de commerce à Ostende, le busc correspondant au zéro de l'échelle de pilotage. Après l'étude faite par le capitaine Dekeeuwer en 1856, à l'occasion du nivellement général, ce niveau fut fixé à 1 m. 6465 au-dessus de ce busc. On doit donc diminuer de 0,1665 toutes les cotes des Ponts et Chaussées pour les comparer à celles du nivellement général.

Raccordement avec la France

Le raccordement se fit par Dunkerque, par Mézières et par Longwy avec le nivellement général de la France ou nivellement Bourdaloue ; le zéro de ce nivellement correspond au niveau moyen de la mer à Marseille.

On trouve que le zéro belge est à 2 m. 1815 au-dessous du niveau moyen de la mer à Dunkerque et à 1 m. 4055 au-dessous du niveau Bourdaloue.

Avec la Hollande

Le zéro hollandais est celui de l'Amsterdamsche Peil (échelle d'étiage de la ville d'Amsterdam) correspondant sensiblement au niveau moyen de la mer à Amsterdam.

Le raccordement s'est fait par Terneuzen et par Maeseyck et Venlo.

Il en résulte que le zéro belge est à 2 m. 1337 au-dessous du zéro hollandais.

Avec la Prusse

Le zéro appelé le normal null, correspond au niveau moyen de la Baltique à Swinemunde.

Le raccordement s'est fait par Venlo, où se trouve un repère du nivellement prussien et par Kaldenkirchen, il donne le zéro belge à 2 m. 0877 au-dessous du normal null.

III. LE NIVELLEMENT DE PRÉCISION

L'Association géodésique internationale, fondée en 1868 dont faisait partie la Belgique et la plupart des pays d'Europe s'est préoccupée dès ses premières conférences, des nivellements de précision à exécuter dans les pays d'Europe. La détermination exacte du relief du sol est un élément important de la connaissance de la forme de la terre, le rattachement des nivellements permet seule de se rendre compte des différences de niveaux des mers, soit éloignées, soit le long des côtes ; enfin des nivellements de précision, peuvent seuls déceler les mouvements verticaux du sol ou les changements de hauteur de la surface des eaux.

Elle a donc recommandé l'exécution de nivellements de précision ; depuis elle s'est occupée de nivellement de haute précision comme actuellement s'en occupe l'Union géodésique et géophysique internationale. En 1885, ces nivellements de précision avaient déjà été exécutés dans plusieurs pays, et sans que l'on exigea les mêmes instruments ni des méthodes identiques. Les recommandations portèrent sur l'emploi d'instruments et de méthodes de valeur comparable : ouverture des lunettes et grossissements, sensibilité des niveaux, mires vérifiées et étalonnées, etc. Afin d'arriver à une conformité plus grande au point de vue des résultats : précision et approximation permettant des comparaisons sûres et la création d'un réseau bien homogène couvrant le continent.

C'est dans ces conditions que la Belgique s'engagea à entreprendre un nivellement de précision. Il ne put être commencé qu'en 1887.

Les résultats de ce nivellement sont consignés dans une publication de l'Institut Cartographique Militaire intitulée *Nivellement de précision du Royaume de Belgique, Répertoire graphique définissant les emplacements et altitudes des repères.*

Aucune publication ne donne de détails sur l'exécution de ce nivellement, les archives mêmes sont incomplètes.

Ce nivellement débute en 1885 par un polygone de 152 kilomètres de développement rattachant le nivellement hollandais avec le nivellement belge au Nord d'Anvers et passant au-dessus de l'Escaut.

Un deuxième cheminement est exécuté de 1887 à 1888 le long des côtes pour rattacher le zéro d'Ostende d'une part au nivellement néerlandais et d'autre part au nivellement de précision français.

De 1889 à 1892, le nivellement de précision fut conduit tout le long de nos frontières avec deux traverses, l'une de Mons à Anvers, l'autre de Givet à Liége, divisant ainsi la Belgique en trois grands polygones.

Ce nivellement est exécuté d'après les méthodes les plus récentes et aussi avec les instruments, niveaux à nivelles indépendantes, mires à compensation, d'après les méthodes que l'ingénieur Ch. Lallemand venait d'inaugurer en France.

Exécuté avec beaucoup de soin, sous la direction du capitaine Denecker, il donna des résultats excellents et il est comparable aux autres nivellements de précision exécutés en Europe.

Ce nivellement se développe sur 1.355 kilomètres ; 626 repères de section ont été placés et 1.487 rivets, repères secondaires. Il a été adéquatement compensé.

Les cotes données sont les cotes orthométriques, les appoints dynamiques sont indiqués en regard.

Les trois grands polygones ferment respectivement à -57, $+15$ et -43 millimètres. Les cheminements principaux qui ont une longueur moyenne de 69 kilomètres, ont été nivelés à double et dans les deux sens.

L'erreur moyenne kilométrique est de 0,00083 et l'erreur systématique moyenne kilométrique de 0,00016.

Le zéro de ce nivellement n'a plus été pris au niveau des basses mers, mais au niveau moyen de la mer d'Ostende d'après la cote trouvée par M. Bovie, ingénieur des Ponts et Chaussées qui s'est servi pour l'établir des courbes marégraphiques de 1878 à 1885.

Le zéro se trouve à 2 m. 012 au-dessus de celui du nivellement général. Il faut donc diminuer les cotes de celui-ci de 2 m. 012 pour pouvoir les comparer à celles du nivellement de précision.

On définit le zéro du nivellement de précision en le plaçant à 3 m. 658 au-dessus du busc de l'écluse du bassin de commerce, tandis que le zéro des nivellements général, lui, se trouve à 1 m. 6465 au-dessus de ce busc.

Raccordements avec les pays voisins

Le raccordement avec la France donne le zéro belge à 0 m. 151 au-dessous du niveau moyen de la Méditerranée à Marseille.

Avec la Hollande, le zéro belge est à 0 m. 320 au-dessous de l'Amsterdamsche Peil.

Avec l'Allemagne, il se trouve à 0 m. 339 au-dessous du normal null.

Ces chiffres ne correspondent guère à ceux trouvés pour le raccordement du nivellement général. Ce qui provient d'une part de la moindre valeur du nivellement général et d'autre part du fait que le nivellement de 1885 est relié au nivellement Bourdaloue, ancien et présentant peu de garanties dans le Nord de la France, tandis que le raccordement du nivellement de 1887 s'est fait au nouveau et récent nivellement de précision français. Il n'y a aucun doute que ces derniers chiffres reposant sur des opérations plus précises et des observations plus nombreuses doivent être considérés comme les plus exacts.

IV. CONCLUSIONS

Il résulte déjà de l'exposé qui vient d'être fait que le nivellement général doit être abandonné. A l'époque où il a été fait, il a rempli son but, c'est-à-dire qu'il a fourni un ensemble de cotes suffisamment exactes pour le levé de détail et le tracé des courbes de niveau. Maintenant il est quasi impossible de retrouver un repère, ceux-ci étant constitués par des seuils de porte, des tablettes de pont, etc. dont les trois quarts ont disparu et dont les autres, soit usés par le temps, déplacés, enfoncés dans la terre ne peuvent plus donner aucune garantie ([3]).

Le nivellement général appuyé sur le nivellement des Ponts et Chaussées, dont l'on ne pourrait, faute d'éléments évaluer la précision, se recoupant de façon peu méthodique, exécutés un peu par pièces et morceaux, amalgamant des nivellements partiels, des cheminements qui ont dû être recommencés plusieurs fois, ne pouvait donner de résultats d'une grande précision.

Ces nivellements partiels, imposés par les circonstances ou par des nécessités d'ordre très divers, exécutés sans idée d'ensemble ni de coordination forment dans le tout du nivellement général, une partie faible qui en diminue beaucoup la valeur

D'autre causes encore ont nui à l'exécution du nivellement général, on les trouve dans la remarquable *Notice sur les travaux exécutés par la section topographique du Dépôt de la Guerre* du lieutenant colonel Henrionnet qui, à un moment donné, se plaint du personnel réduit, du manque de temps et d'argent et des crédits mesurés ([4]).

Quoi qu'il en soit, on ne peut pas se référer au nivellement général, il est de valeur douteuse et il n'est plus guère possible de le retrouver sur le terrain. Pour une vérification de cote ou de courbe de la carte, il faut passer par le nivellement de précision.

Or, celui-ci qui est un nivellement excellent, présente cet inconvénient : c'est qu'il n'est pas complet et, fait plus grave, qu'une grande partie des repères ont disparu. Même le zéro du nivellement n'est plus matérialisé de façon sûre.

Il n'est pas complet car il ne comprend que trois grands polygones sans aucune traverse et pour peu que l'on ait besoin de cotes se trouvant vers le centre de l'un ou l'autre des polygones, il faut exécuter un cheminement long et dispendieux. La disparition des repères vient encore augmenter, la difficulté. Une loi sur la conservation et la protection des signaux et repères servant à la carte du pays a été votée par le Parlement en 1927. Il est à espérer qu'elle aura un effet bienfaisant en empêchant le déplacement,la détérioration ou la disparition des repères existant encore.

En résumé, la situation du nivellement belge n'est pas brillante, et

([3]) Sur 273 points communs entre le nivellement de précision et le nivellement général, on a constaté pour 198 points une différence de cotes inférieure à 10 cm. ; pour 57 points, une différence de 10 à 20 cm. ; pour 12 points, une différence de 20 à 40 cm. ; pour 6 points, une différence de plus de 40 cm.

([4]) p. 38.

loin de ce qu'elle devrait être. C'est ainsi même qu'il a été constaté que des courbes de niveau de la carte topographique et notamment dans la vallée de certaines rivières ne répondent plus à la réalité et qu'ainsi l'on ne peut se rendre compte de l'extension que prendraient les inondations qui pourraient se produire dans ces vallées ou que l'on voudrait y tendre. Les grands travaux, qu'ils soient civils ou militaires, ne peuvent s'appuyer pour ce qui concerne le relief du sol sur la carte qui n'est plus exacte, ils doivent s'accrocher à quelques repères éloignés du nivellement de précision, aussi nécessitent-ils chaque fois des nivellements locaux, longs et coûteux.

L'on recommence en fait l'expérience de 1856 comme si elle ne nous avait rien appris.

Envisagés séparément, ces nivellements partiels n'engagent que relativement peu de fonds et paraissent économiques, c'est ce qui les fait adopter ; en réalité dans leur ensemble, ils reviennent énormément plus cher que l'entreprise générale qui devrait être faite et qui est la seule solution logique donnant un nivellement homogène, complet et utilisable pour tous les travaux des ingénieurs civils et militaires : entreprise générale qui comprendrait le complément du nivellement de précision par la réinstallation des repères manquants, nivellement de traverses de premier ordre, de traverses de deuxième ordre, levé des points nivelés de troisième et de quatrième ordre.

Nous posséderons alors un réseau de nivellement de précision comparable à ceux de nos voisins et de la plupart des pays d'Europe.

SITUATION DES TRAVAUX GÉODÉSIQUES EN BELGIQUE

par J. MAURY

Professeur à l'Ecole Militaire,
Chef du Service Géodésique à l'Institut Cartographique Militaire

---

Les travaux géodésiques se développent dans deux champs d'activité distincts. Le premier est de pure spéculation scientifique et est consacré à la recherche des dimensions et formes du géoïde, ainsi qu'à la répartition des masses qui composent la croûte terrestre. Il y est fait usage de deux méthodes de recherches : l'une géométrique, basée sur la mesure des arcs, et utilisable dans les parties continentales seulement ; l'autre, mécanique, reposant sur l'étude de la pesanteur que la technique moderne a permis d'étendre aux terres comme aux mers.

Le second champ d'activité de la géodésie a un caractère plus utilitaire et consiste dans l'établissement des canevas de points : bases des travaux topographiques et des mensurations cadastrales.

Seule, la méthode géométrique s'y trouve employée, mais de part et d'autre, les déterminations présentent ce caractère commun de réclamer une précision maxima. Une différence se présente, dans la disposition des réseaux triangulés : pour le premier cas, les réseaux peuvent être constitués de bandes minces agencées en grandes mailles ; pour le second, ils s'étendent en surface, réalisant une répartition homogène de points qui sont unis entre eux par des éléments linéaires et angulaires rigoureusement compensés.

C'est à cette dernière catégorie que se rattachent les travaux du service géodésique de l'I. C. M.

Les travaux d'établissement de la carte fondamentale du royaume à l'échelle du 1/40.000 sont terminés depuis 1881 ; le tome III de la *Triangulation du Royaume*, paru à cette date, contient les coordonnées des points fondamentaux. Ces valeurs ont un caractère provisoire, ce sont des moyennes calculées sur les résultats donnés par les combinaisons des longueurs et angles compensés d'une manière incomplète et rudimentaire. Les erreurs qui résultent d'un tel calcul s'accroissent rapidement du premier ordre au troisième et rendent précaires les déterminations du quatrième ordre. Or, les nécessités nouvelles de la guerre, les besoins croissants des cartes à grandes échelles (1/5.000 et 1/10.000) demandent l'établissement d'un quatrième ordre complet, et très dense.

Un inventaire des repères géodésiques restés intacts au lendemain de l'armistice révéla de nombreuses disparitions, en particulier dans le deuxième et le troisième ordre et confirma l'hétérogénéité de la répartition

des points de ces deux ordres. Il permit de conclure à l'urgence du rétablissement complet de ces deux réseaux sur des bases nouvelles et exactement compensées.

Les mesures commencèrent dans la région d'Anvers pour progresser ensuite vers la Campine et le Limbourg. Les instruments employés sont des théodolites munis de microscopes à vis micrométriques donnant à l'estime le 1/10e de seconde. La méthode de mesure est, pour le deuxième ordre, celles des « angles indépendants » donnant un poids sensiblement uniforme de 16, l'erreur de fermeture des triangles ne devant pas, en moyenne dépasser 5″.

Pour le troisième ordre, la méthode d'observation se rapproche de la méthode suisse des « secteurs ». Les mesures se font en séries dans l'angle entre deux directions du second ordre, ces deux directions étant comprises dans chaque série. Il n'est pas stationné aux points de troisième ordre.

Dès 1925 se posa la question du calcul des parties relevées et, à cette occasion, des décisions importantes durent être prises. Elles portèrent sur les points suivants :

1. — *Fixation du système référentiel.*

L'ancienne triangulation et la carte ont pour ellipsoïde de référence celui de Delambre d'aplatissement 1/309. Il était indiqué de choisir pour les nouveaux calculs, une des figures modernes, notamment celle dont l'emploi venait d'être recommandé par l'Union géodésique, au congrès de Madrid, soit l'ellipsoïde de Hayford 1909, dont l'aplatissement est 1/297

Les formules de transport de coordonnées, utilisées en 1881, furent également abandonnées comme trop peu convergentes ; on leur substitua celles de Puissant sous la forme employée au Coast and Geodesic Survey. Les tables des coefficients furent calculées sur l'ellipsoïde nouveau, avec un nombre de décimales suffisant pour le premier ordre, et à intervalles de minute en minute.

L'orientation du système référentiel, s'obtient en première approximation par la fixation, en un point du réseau, de la latitude, de la longitude, de l'altitude et de la direction du méridien

Le point origine ancien est celui de l'église Saint-Joseph à Bruxelles. La latitude et la longitude ont été déduites de celles de l'ancien observatoire par un transport triangulé assez précaire, le méridien de l'observatoire étant pris comme origine des longitudes. L'azimut de départ est celui de Saint Joseph-Malines, déterminé par Houzeau. Le point origine nouveau fut choisi à Lommel (Signal) où le capitaine Delporte avait en 1885, observé la latitude et déterminé l'azimut : Lommel (Signal)-Lommel (Tour) par une série d'observations bien concordantes. La longitude admise fut la longitude géodésique donnée par les calculs anciens ; cette donnée étant assez différente, en première approximation. Ces quantités auraient dû subir des corrections. Pour la latitude : réduction à la surface de référence et au pôle moyen. La première est négligeable, quant à la

seconde, aucun élément n'existait pour la faire, le service international des latitudes ne fonctionnant pas à ce moment.

Pour la longitude : réduction au pôle moyen, impossible à faire. Pour l'azimut : réductions à la surface de référence et à la ligne géodésique, négligeables, et réduction au pôle moyen, impossible.

2. — *Méthode de calcul du deuxième ordre.*

Le calcul du deuxième ordre est basé sur la méthode des angles, ceux-ci étant supposés de poids uniforme. Les triangles sont réunis en groupes liés rigidement aux groupes calculés précédemment et aux points de premier ordre. La méthode de compensation sera exposée par M. Letroye. Chaque groupe nouveau est agencé de manière à incorporer un ou deux points de premier ordre nouveaux, sur lesquels il est fait une liaison rigide, des précautions étant prises pour qu'il puisse être tenu compte de toutes les mesures faites.

3. — *Calcul du premier ordre.*

Pour arriver à calculer le deuxième ordre ainsi qu'il est dit ci-dessus, il fallait disposer des éléments : longueurs de côtés, angles, coordonnées et azimuts du premier ordre, exactement compensés. Or, un calcul général de compensation avait été établi après 1881 et les résultats avaient été publiés dans les tomes IV et V de la *Triangulation générale du Royaume*. Il était donc indiqué de faire usage de ces données pour calculer les valeurs fondamentales du premier ordre. Des contradictions se révélèrent à l'usage et un examen détaillé du travail montra l'existence d'erreurs dans les équations de conditions et dans les compensations de stations.

Les premières dérivent de trois sources qui sont :

1° Un calcul inexact des excès sphériques: Le rayon de courbure ayant été considéré comme constant et correspondant à un grand cercle de 4.000.000 de mètres.

2° Il avait été fait usage dans les équations de liaison sur bases des angles sphériques, négligeant ainsi la correction de Legendre.

3° La compensation était faite par la méthode des directions, appliquée à des groupes de triangles calculés successivement et rattachés rigidement aux groupes précédents de manière à former un tout. Le découpage des groupes se trouvait fait de manière qu'un certain nombre de triangles avaient trois éléments (deux côtés et un angle) fixés d'avance. Il n'avait pas été tenu compte de cette circonstance qui annulait d'ailleurs la possibilité d'employer certaines données d'observations directes.

Il devint ainsi nécessaire de soumettre à une révision complète les calculs du premier ordre. Ce travail fut entrepris sur la base suivante :

La partie Nord du réseau, comprenant :

1° Les développements des deux excellentes bases de Lommel et d'Ostende.

2° La chaîne réunissant ces deux développements.

3° Le groupe du nord de cette chaîne vers la frontière hollandaise, avait été particulièrement travaillée, du fait qu'elle appartenait au cinquante et unième parallèle, calculé par M. Helmert. Il ne s'y trouvait aucun triangle coincé, les corrections à faire étaient donc très faibles. Il fut procédé à un simple rajustement en partant des angles compensés, supposés tous de même poids, de manière à satisfaire rigidement à toutes les conditions géométriques.

Pour le reste du réseau, il fallut procéder à un groupement nouveau, évitant les triangles coincés. L'utilisation des machines à calculer permit d'envisager l'emploi de groupes renfermant jusqu'à 65 équations de conditions et d'étendue graduellement décroissante du Nord au Sud.

Les séries observées étant assez disparates, l'emploi de la méthode des angles s'indiquait, mais une nouvelle difficulté se présenta lors de la fixation des poids de ces observations : des contradictions se révélant dans les équations de poids fournies par les compensations locales anciennes. Celles-ci durent donc être reprises entièrement pour fixer les vâleurs de départ, et leurs poids. La méthode employée sera exposée par M. Letroye.

Actuellement, sept groupes de premier ordre sont entièrement recalculés. Seule, l'extrême Sud du pays reste à compléter.

Douze groupes de second ordre couvrant la partie Nord-Est, soit un tiers environ du territoire, sont également calculés. Le troisième ordre est complet dans la partie couverte par le second ordre. La méthode de calcul employée sera également donnée par M. Letroye. Tout cet ensemble est rigidement géométrique.

La comparaison des résultats aux observations astronomiques anciennes donne lieu aux remarques suivantes :

Les fermetures sur azimuts, à Nieuport, Bruxelles (Saint-Joseph), Uccle (observatoire) restent dans les limites des erreurs tolérables. La différence : azimut géodésique moins azimut astronomique qui, avec l'ancien calcul s'élevait à 15″ environ pour l'intervalle Bruxelles-Lommel est actuellement de 3″ seulement.

Les différences portant sur les latitudes observées restent du même ordre de grandeur qu'antérieurement et donnent à Nieuport une déviation notable dépassant 4″6.

Un contrôle indirect du réseau a été cherché dans les résultats du quatrième ordre, comme suit : Ces points sont déterminés en y mesurant les angles sur des sommets visibles du réseau, de manière à disposer toujours pour le calcul d'éléments surabondants. Une position de première approximation est obtenue par deux angles; cette position est améliorée par une compensation utilisant tous les angles mesurés. La moyenne de ces améliorations dans le sens des Y (Nord-Sud) et dans le sens des X (Est-Ouest) a été calculée pour près de 900 points, et a donné $\Delta x = \Delta y = 0$ m. 18. Les angles étant mesurés avec des cercles donnant le centigrade, sur des côtés de 2 à 3 kilomètres en moyenne, on voit que l'on peut conclure que cette amélioration présente le caractère d'une simple erreur accidentelle.

4. — *Triangulation du Grand-Duché de Luxembourg*

En 1926, le service géodésique fut chargé d'établir le réseau triangulé du Grand-Duché de Luxembourg. Pour donner au travail de premier ordre toute la précision désirable, il devenait nécessaire de mesurer à proximité immédiate du nouveau réseau une base géodésique nouvelle.

Elle fut choisie en un endroit où elle put être utilisée en même temps comme contrôle par le réseau belge et le réseau français. Du côté belge, elle nous ramène au plan primitivement conçu par le général Neremburger; du côté français, elle se trouve à proximité de la jonction du parallèle d'Amiens et de la méridienne de Lyon.

L'emplacement choisi se trouve sur la route d'Habay-la-Neuve à Etalle, la longueur mesurée est de 5 km. 500.

La mesure fut faite en 1927 avec de bons résultats, à l'aide de fils d'invar qui furent étalonnés au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres, avant et après la mesure. Divisée en cinq sections de même ordre de grandeur, la base fut mesurée quatre fois à l'aide de deux fils. Les valeurs obtenues sont remarquablement concordantes. L'écart maximum ne dépasse pas 0 mm. 5, la différence entre les moyennes fournies par les deux fils est de 0 mm. 02.

L'erreur moyenne déduite de la comparaison des mesures des diverses sections est de ± 2 mm. 093 soit $\frac{1}{2.654.000}$

En tenant compte des erreurs extérieures à la mesure, l'erreur moyenne absolue peut être prise à ± 4 mm. 416 soit $\frac{1}{1.250.000}$

Les particularités de cette mesure où les précautions les plus minutieuses ont été prises pour éliminer toute erreur systématique ont été publiées dans le mémoire intitulé: *Base géodésique de Habay-la-Neuve-Etalle* (mémoires publiés par la classe des Sciences de l'Académie Royale de Belgique, collection in-4°, 2e série, tome X, 1929).

La base a été développée sur le côté Arlon-Anlier qui constitue la base du réseau grand-ducal de premier ordre. Ce dernier qui comprend 14 points, réunis par 16 triangles est actuellement entièrement mesuré.

Les angles ont été obtenus par la méthode de Schreiber (angles indépendants) appliquée au poids 24, à l'aide du cercle de Prin et du cercle de Wanschaff de l'I. C. M. Les angles réduits et compensés localement donnent, malgré l'emploi des signaux de hauteur considérable (40 mètres) des résultats rentrant dans les tolérances admises par l'Union géodésique pour le premier ordre.

Les mesures du second et du troisième ordres sont en cours.

La jonction du réseau grand-ducal a été assurée avec le réseau belge et le réseau français. Enfin des observations astronomiques absolues ont été faites au terme de Habay par M. Pauwen, chargé de cours à l'Université de Liége. Elles portent sur la détermination de la latitude, de la longitude et de l'azimut, de manière à réaliser un point de Laplace.

Il a été fait emploi, pour la latitude de la méthode de Talcott Horrebow,

pour la longitude et l'azimut de la méthode méridienne avec enregistrement des signaux horaires radiotélégraphiques. Les réductions sont en cours.

5. — *Seconde approximation*

Tout ce qui précède ne comporte en réalité que la première approximation, ordinairement suffisante pour les applications économiques ou militaires des réseaux géodésiques. Mais il faut, pour mettre les résultats au niveau de la technique moderne, envisager une seconde approximation tenant compte des contrôles astronomiques. Elle aurait pour effet, d'ailleurs, d'accentuer la sécurité des résultats surtout dans leurs rattachements aux réseaux des pays voisins.

L'emploi des contrôles astronomiques anciens est précaire. En écartant les mesures antérieures à 1880, il reste les observations détaillées ci-après :

a) Observations de Delporte :
Lommel (Latitude et azimut) ;
Nieuport (Latitude et azimut) ;
Hamipré (Latitude et azimut).

b) Liaison à l'Observatoire d'Uccle par le capitaine Galet. Nous pouvons utiliser la latitude et la longitude.

c) Des observations de latitude faites par le capitaine Galet et le lieutenant Gallendyn à l'aide de l'astrolabe à prisme de Claude et Driencourt à Cul-des-Sarts, Vierset, Hamipré et Wéris.

Or, il est à remarquer que les points de Nieuport et Hamipré ont disparu et les observations à l'astrolabe sont, de par leur méthode de réduction, difficiles à comparer avec les autres.

Ainsi qu'on peut le constater, une seule longitude absolue existe : celle d'Uccle.

On voit donc que si l'on veut entamer une deuxième approximation, qui permettra d'ailleurs d'envisager la comparaison avec les mesures pendulaires faites par M. François, il faut prévoir la détermination d'un certain nombre de points de Laplace répartis sur le réseau. Ces mesures sont actuellement commencées grâce à la collaboration assurée au service géodésique par l'Institut d'astronomie de l'Université de Liége.

Cet organisme vient de recevoir à cet effet en prêt du Coast and Geodetic Survey, un télescope zénithal et une lunette méridienne portative qui seront utilisés par M. Pauwen pour les déterminations prévues. Les observations sont commencées au point de Jalhay (baraque Michel) et nous envisageons dans un avenir très rapproché des observations complètes à Lommel, La Houssière, mont Kemmel et Philippeville.

D'autres points favorables seront recherchés. L'Institut d'astronomie de l'Université de Bruxelles, a bien voulu nous assurer également sa collaboration pour les déterminations du Campanile des nouveaux bâtiments dont le service géodésique se propose d'assurer la réunion au premier ordre,

et où nous serons peut-être amenés à transporter l'origine. L'observatoire de Cointe sera également rattaché au premier ordre.

Il est à remarquer que les observations de longitude nous donneront des contrôles rigides nouveaux en permettant le calcul des azimuts géodésiques par les azimuts astronomiques observés, en usant de l'équation de Laplace.

Dans ces conditions nous pouvons fixer comme suit la succession des travaux qui permettront d'établir la seconde approximation en tenant compte des nouveaux contrôles astronomiques :

1° Compensation du dernier groupe de l'ancienne triangulation en y incorporant la base et l'azimut de Habay ;

2° Rétablissement du premier ordre dans la région de la mer du Nord, jonction de l'Observatoire de Cointe et du Campanile de l'Université libre de Bruxelles ;

3° Rajustement des groupes de premier ordre par l'introduction de conditions rigides d'azimut aux points de Laplace ;

4° Détermination des corrections à faire à la latitude et à la longitude du point origine pour tenir compte, le mieux possible, sans changer les dimensions de la surface de référence, de l'ensemble des observations astronomiques de latitude et longitude.

ORGANISATION ET ACTIVITÉ DU BUREAU DES CALCULS À L'INSTITUT CARTOGRAPHIQUE MILITAIRE

par A. LETROYE,

Chef du Bureau des calculs, à l'Institut cartographique militaire.

Cette communication a pour but de donner une idée de l'organisation et un résumé succinct de l'activité du bureau des calculs géodésiques à l'Institut cartographique militaire.

Quoique existant dans tous les Instituts géographiques étrangers, ce n'est qu'après la guerre que cet organisme a été créé en Belgique. Les calculs relatifs à la triangulation du royaume avaient été confiés à des personnes étrangères à l'Institut, entre autres à M. Namur, professeur à l'Ecole moyenne de Thuin. Il suffit de relire la correspondance longue, quasi-quotidienne et souvent confuse, échangée entre le directeur du Service géodésique et M. Namur, pour comprendre avec quelle lenteur les calculs avançaient.

Les opérations sur le terrain étaient terminées en 1873, les calculs de la compensation ne le furent qu'en 1885.

C'est en partie à l'absence d'un bureau de calculs permanent, que nous devons la situation dans laquelle nous nous trouvons au point de vue des travaux géodésiques en Belgique.

Les valeurs définitives des coordonnées géographiques des points géodésiques du pays n'ont jamais été calculées. La carte a été basée sur des valeurs provisoires, certes suffisamment exactes pour le dessin de la planimétrie, mais qui ne le sont pas pour les levés à grandes échelles que l'on est amené à faire actuellement pour les besoins des travaux tant militaires que civils.

Le bureau a été organisé en remarquant que les calculs peuvent être classés en deux catégories bien distinctes :

1° Ceux qui nécessitent des études spéciales et des solutions mathématiques ; en ordre principal, les calculs de compensation, bases de toutes les opérations topographiques et géodésiques.

Ils sont confiés à un personnel permanent, ayant fait des études universitaires.

2° Ceux qui peuvent être mécanisés. Ce sont les plus nombreux. Ils ne demandent pas un long apprentissage surtout si des formulaires ont été

étudiés avec soin pour en permettre l'emploi par des aides n'ayant que des notions assez élémentaires en mathématiques.

Un personnel temporaire, guidé par un calculateur permanent, en est chargé.

Si le personnel, peu nombreux, a pu mener à bien une tâche des plus ardues, depuis 1925, c'est grâce à l'emploi systématique des machines à calculer.

Alors qu'autrefois, tous les calculs se faisaient avec des tables de produits (tables de Crelle) ou avec des tables de logarithmes, la plupart des opérations sont maintenant exécutées à la machine.

L'exemple de la formation et de la résolution des équations normales, montre le gain considérable de temps que l'on peut réaliser ainsi.

Il est évident que pour éviter toute perte de temps, les formulaires doivent être adaptés au calcul mécanique et permettre de réduire les écritures au strict minimum.

L'emploi d'abaques permet aussi de remplacer de longs calculs par une simple lecture de cote.

Il est cependant assez curieux de remarquer que certains services géodésiques estiment inutile l'introduction des machines et préfèrent continuer à calculer par logarithmes (1).

Parmi les calculs qui ont été repris, par la nécessité de réfectionner la triangulation, rendue en partie inutilisable par suite des dévastations de la guerre, nous citerons :

1° Un nouveau calcul du premier ordre, basé sur les observations faites de 1852 à 1873 ;

2° Un calcul compensé de deuxième ordre ;

3° Un calcul compensé de troisième ordre :

4° L'établissement de tables pour les calculs de coordonnées rectangulaires.

Calculs de premier ordre

Après avoir rajusté les quatre groupes de la partie Nord, (voir communication de M. Maury) on a dû reprendre les calculs dès le début, pour la partie restante du pays ; les poids des angles, résultant de la compensation antérieure étant trop disparates.

Compensation de Stations.

Dans un premier calcul, on avait supposé le poids d'un angle observé proportionnel au nombre de ses mesures. Après avoir traité les équations d'observations par la méthode des observations indirectes, on avait déduit les valeurs des angles et leurs poids. Dans l'ensemble des stations étudiées,

(1) Service géodésique de l'Inde.

ces poids variaient de 1 à 1000, et auraient donné dans les équations normales, des coefficients beaucoup trop différents. C'est pourquoi, on a abandonné l'hypothèse, faite au début du calcul.

On a repris les valeurs des angles et calculé leurs erreurs moyennes quadratiques ε. On a éliminé les observations qui donnaient des écarts supérieurs à 2,5 fois cette erreur. On a pris pour poids des angles $\frac{1}{\varepsilon^2}$, ce qui revient à admettre $\eta=1''$ dans la formule :

$$p_1 \varepsilon_1^2 = p_2 \varepsilon_2^2 = \ldots\ldots\ldots\ldots = \eta^2$$

Les poids obtenus variant alors de 0,7 à 2,8, on a employé cette seconde méthode pour toutes les stations.

Compensation de figures.

Après avoir groupé les stations, le groupe V de la nouvelle répartition compte 65 équations de condition comprenant 438 coefficients pour 107 inconnues. Le groupe VI, 62 équations, 427 coefficients pour 85 inconnues et le groupe VIII, 20 équations, 110 coefficients pour 28 inconnues.

Le temps employé pour l'établissement des équations normales leur résolution, et le calcul des corrections a été de 163 heures pour le groupe V et de 120 heures pour le groupe VI.

A titre de comparaison, on a retrouvé des lettres de M. Namur, qui montrent qu'un système de 22 équations avait autrefois demandé cinq mois de travail. Le gain de temps est dû non seulement à l'emploi des machines, mais aussi aux simplifications apportées au traitement des équations normales.

Si la méthode employée est celle de Doolittle, perfectionnement de la méthode de Gauss [2], on en a modifié considérablement l'application.

Au lieu de former les équations normales et de dresser les tableaux A, B, C... comme le fait M. Doolittle, on n'établit que la première équation normale. Celle-ci explicitée permet d'éliminer immédiatement, dans la deuxième équation normale en formation, le terme contenant le premier corrélatif. De même dans la troisième équation, on élimine déjà les deux premiers corrélatifs en utilisant les deux équations précédentes et ainsi de suite...

Grâce aux vérifications que l'on peut faire après chaque élimination, on peut être certain des résultats partiels obtenus. Ces vérifications sont néanmoins des plus laborieuses ; lors de la résolution des 65 équations du groupe V, certaines vérifications ont nécessité une somme de plus de 300 produits partiels de nombres de six chiffres par des nombres de six chiffres et de toutes ces opérations, seul le résultat final était écrit.

Malgré le grand nombre de multiplications effectuées, le pourcentage des fautes de calcul n'était pas supérieur à 2.

[2] *The adjustment of observations by Wright and Hayford*, **91**, 114.

Cette méthode exige évidemment une connaissance approfondie de la suite des opérations à effectuer, une attention des plus soutenue et une grande pratique du travail à la machine.

Dans le calcul des v, la plus grande partie des écritures a été également supprimée.

On a calculé l'erreur moyenne de l'unité de poids par la formule :

$$\eta = \sqrt{\frac{\Sigma\, p\, v^2}{n_c\, p_m}}$$

avec p=poids de l'angle
v=correction de l'angle
n_c=nombre de conditions
p_m=poids moyen.

On a ainsi obtenu pour le groupe V : $\eta = 1''761$
pour le groupe VI : $\eta = 2''804$
pour le groupe VIII : $\eta = 1''228$.

La formule approchée de l'ancienne Association géodésique internationale (Formule de Ferrero) $\sqrt{\frac{\Sigma\,\Delta^2}{3n}}$ avec Δ = erreur de fermeture des triangles et n=le nombre des triangles, donne les résultats suivants :

pour le groupe V : 1″111 ;
pour le groupe VI : 1″283 ;
pour le groupe VIII : 0″614.

Ces valeurs sont plus petites que les valeurs rigoureuses, ce qui est conforme à la théorie vu que la formule de Ferrero ne tient compte que des équations aux angles.

Calculs du deuxième ordre

Les groupes de deuxième ordre, formés comme l'a indiqué M. Maury dans sa communication, sont compensés en deux approximations successives :

1° La première approximation est la compensation du groupe sur lui-même. Le groupe est rendu géométrique en liaison avec les groupes précédemment calculés ;

2° La seconde modifie angles et côtés, de manière à retrouver pour les latitudes et longitudes des points de premier ordre compris dans le groupe, les valeurs fixées par les calculs précédents, tout en conservant le caractère géométrique du groupe.

Le calcul de cette seconde approximation se simplifie beaucoup si l'on a soin de se servir des tableaux, établis pour les calculs de la première. Les équations corrélatives seront complétées par l'adjonction de nouvelles colonnes, dues aux équations supplémentaires.

Les équations normales du nouveau système, auront en commun, avec

celles du premier, un grand nombre de termes ; il suffira donc de les compléter en traitant les nouveaux corrélatifs de la manière habituelle et en conservant les écritures précédentes.

Cette méthode de calcul a aussi le grand avantage de réduire au minimum, les calculs qui devraient être repris si la triangulation de premier ordre était un jour remesurée ; en effet tous les calculs de la première approximation seraient utilisables, après avoir changé les termes indépendants des équations.

82 points de deuxième ordre ont été ainsi calculés ; ils sont répartis en 12 groupes.

L'erreur moyenne de l'unité de poids a une valeur moyenne de 2″66. La plus grande et la plus petite étant respectivement 4″57 et 1″99.

La formule de Ferrero $\sqrt{\frac{\Sigma \Delta^2}{3n}}$ donne, pour ces valeurs, des nombres plus petits : 1″94, 2″25 et 1″04 (cf. avec les résultats du premier ordre).

Remarques :

1° Lorsque l'erreur de fermeture d'un triangle était supérieure à 5″, on a donné à certains angles des poids moindres ;

2° Des points de deuxième ordre auxiliaire ont été intercalés ; ils n'avaient pas été compris dans les groupes pour éviter trop d'enchevêtrement.

Calculs des points de troisième ordre

Ces points sont recoupés des points de second ordre ; on n'y stationne pas.

Théoriquement, deux visées suffisent pour déterminer un point ; dès qu'une troisième mesure est effectuée, il y a une condition à satisfaire.

Pratiquement, on ne calcule que les points qui ont au moins trois recoupements. De sorte qu'une compensation est à faire pour chaque point à calculer. On considère comme fixes les éléments fournis par les calculs de premier et de second ordres et on exprime que les visées faites de ces points convergent vers le point à calculer.

Si la correction à apporter à un angle ne satisfait pas au critérium de Hayford, on élimine la visée correspondante.

Pour chacun des points calculés, on calcule l'erreur moyenne de l'unité de poids :

$$\eta = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n_c}}$$

v = corrections à apporter aux angles
n_c = nombre de conditions.

Les 490 points calculés à ce jour, donnent une valeur moyenne de η égale à 3″49.

La méthode par compensation de coordonnées φ et λ, avait été envisagée pour le calcul des points de troisième ordre.

L'erreur moyenne de l'unité de poids $m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-2}}$ a été trouvée sensiblement égale à η, pour les points calculés.

On en déduit $m_{d\varphi}$ et $m_{d\lambda}$ qui valent environ 0″005, ou 15 cm. Cette méthode simplifie le problème de la compensation des réseaux lorsque le nombre des équations est grand.

On a cependant préféré conserver la compensation par angles qui donne dans le cours du calcul, les longueurs des côtés et leurs azimuts.

Les points de troisième ordre seraient aussi rapidement recalculés si le deuxième ordre était rajusté ; les termes indépendants des équations de conditions seuls seraient à modifier.

Calculs des coordonnées géographiques des points de premier, deuxième et troisième ordres

Formules de transport des coordonnées employées (voir communication de M. Maury : Fixation du référentiel).

Jusqu'à ce jour, ces calculs se faisaient par logarithmes ; depuis peu on a calculé les tables des valeurs naturelles des nombres A, B, C, D, E, F, qui entrent dans ces formules et étudié un formulaire *ad hoc*.

Le calcul des coordonnées d'un point se fait alors avec des tables de valeurs naturelles ; un gain de temps considérable est ainsi réalisé de même que pour la résolution du problème inverse : calculer la longueur de l'azimut de la ligne M N connaissant les latitudes et longitudes des points M et N.

Pour le calcul de la latitude, des abaques ont été exécutés, ils permettent de lire immédiatement les valeurs des termes $D\, d\, \varphi^2$ et $E\, h\, e^2 \sin^2 \alpha$.

Coordonnées rectangulaires

Le système de projection de Bonne, employé autrefois, a été rejeté à cause des déformations anormales qu'il introduit dans les levés topographiques à grandes échelles.

On a adopté actuellement la projection conforme de Lambert à deux parallèles fondamentaux.

Au lieu de calculer des tables à double entrée-latitude et longitude de minute en minute, on a préféré calculer deux tables, plus adaptées aux calculs mécaniques et permettant une interpolation rapide. Ces tables donnent les éléments qui entrent dans les formules.

1° Table des rayons graphiques des parallèles de 51° 35′ à 49° 25′, intervalle de minute en minute.

2° Table des valeurs $\sin \theta$ et $2 \sin^2 \frac{\theta}{2}$, de 10 en 10 secondes ; θ étant l'angle de convergence des méridiens.

Ces tables permettent de calculer par de simples multiplications, les coordonnées rectangulaires d'un point dont on connaît les coordonnées géographiques et de résoudre le problème inverse.

Une révision complète de la carte de Belgique est en cours actuellement ; la carte est établie en projection de Bonne, calculée sur l'ellipsoïde de Delambre ; origine de la triangulation : Bruxelles Saint-Joseph, tandis que les calculs actuels sont faits en supposant le réseau placé sur l'ellipsoïde de Hayford ; origine Lommel (Signal) projection de Lambert. On désirait néanmoins utiliser les résultats des calculs nouveaux et placer les points géodésiques sur la carte par leurs coordonnées rectangulaires.

Les formules rigoureuses pour passer d'un système à l'autre étant d'un emploi difficile, il a paru préférable de recourir à une solution graphique du problème. Les coordonnées rectangulaires d'un certain nombre de points ont été calculées dans les deux systèmes, on a ensuite tracé sur une carte les courbes joignant les points pour lesquels les différences des x et des y étaient les mêmes. Ces courbes d'allure régulière, permettent de changer de système de coordonnées par une simple lecture de cote. Les résultats sont suffisamment approchés pour les nécessités de la confection de la carte.

Pour les camps de Beverloo, Brasschaet et Elsenborn, on a établi des solutions, basées sur la théorie des moindres carrés. Les erreurs sont inférieures au demi-décimètre. Pour ces régions, on a également dessiné des graphiques qui peuvent remplacer avantageusement les calculs.

L'ÉTENDUE DU TERRAIN TOPOGRAPHIQUE

par M. ALLIAUME

Professeur à l'Université de Louvain

Résumé. — Eu égard au mode adopté de représentation cartographique, la partie représentée du géoïde est souvent assez petite pour que la carte obtenue eût été, si l'on avait supposé le géoïde plan, pratiquement indiscernable de la carte obtenue après un travail géodésique rigoureux : c'est le passage de l'hypothèse géodésique à l'hypothèse topographique, acceptable dans les limites du terrain topographique, par définition de celui-ci.

L'étendue du terrain topographique dépend de la représentation cartographique adoptée, de la nature des opérations topographiques, de l'échelle μ du plan topographique et de l'approximation graphique.

La carte géodésique et le plan topographique sont mis en coïncidence, de façon que les images d'un même point du géoïde soient superposées et que deux directions correspondantes soient confondues. Le terrain topographique est l'ensemble des points du géoïde dont les images, géodésique et topographique, sont les extrémités d'un segment au plus égal à l'approximation graphique : d'où l'équation de la frontière du terrain, en coordonnées géographiques, ou en coordonnées rectangulaires de la carte, ou en coordonnées rectangulaires du plan.

Toutes autres choses égales, il y a lieu de chercher la valeur la plus avantageuse de l'échelle topographique. Pour ceci, on introduit une grandeur L liée à la courbe frontière du terrain pour une valeur numérique de μ : le lever topographique se fait dans des circonstances estimées d'autant plus avantageuses que L est plus grand. La valeur de μ à adopter est celle pour laquelle L est maximum.

L'analyse des opérations topographiques montre que le tracé du plan constitue une projection plate ayant pour centre le point de départ du lever ; cette analyse se fait à telle approximation, de sorte que le terrain n'est cependant pas illimité dans le cas d'une carte géodésique en projection plate.

A cette approximation, la frontière du terrain a pour image topographique une conique dont le centre (ou un centre) se trouve à l'origine du lever, à savoir une ellipse, ou une parabole réduite à deux droites parallèles.

Dans l'application de cette théorie à une carte conforme, il existe une

valeur de μ pour laquelle la frontière du terrain s'éloigne indéfiniment, et cette première approximation est insuffisante.

Dans une nouvelle étude, en deuxième approximation, l'image topographique de la frontière du terrain est une cubique, ayant pour asymptote l'image topographique du méridien de l'origine du lever.

Cette théorie est appliquée aux projections de Mercator, Flamsteed, Bonne et Lambert.

LA COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE CONGOLAISE

par E. LAGRANGE

Président de la Société Belge d'Astronomie

La Société belge d'Astronomie, de Météorologie et de Physique du Globe a fait sien, par l'adhésion unanime de son Conseil général, en février de cette année, un programme d'organisation et de coordination des observations et des études météorologiques au Congo belge, qui répond à une nécessité autant scientifique que matérielle, et que je lui avais présenté, comme Président de cette société avec la collaboration précieuse de M. R. Berce, notre secrétaire général.

Nous disons que ce projet scientifique répondait à une nécessité, les communications que nous avons faites devant la Société d'Astronomie avaient pour but de la mettre en évidence et la lecture des bulletins de *Ciel et Terre*, qui contiennent *in extenso* le rapport de M. Berce fait à la séance de 1929, nous paraissent de nature à amener à ce sujet la persuasion dans les esprits.

Mais la preuve la plus absolue que notre proposition arrivait à son heure est l'adhésion unanime qu'elle a rencontrée sans tarder dans tous les milieux auxquels elle s'adressait.

L'œuvre d'organisation et d'utilisation des matériaux recueillis, à commencer par ceux qui permettront avec le temps l'établissement d'une véritable « climatologie congolaise » qui à l'heure actuelle n'existe pas, nécessitait, en effet, en premier lieu, la collaboration effective de tous les organismes coloniaux ; tout d'abord de l'Etat lui-même qui a déjà tant fait dans cette voie et qui a reconnu de suite les services qu'une Association comme la nôtre pouvait rendre à la colonie et au pays dans ce domaine scientifique et nous a promis son appui complet, puis ensuite des grandes sociétés ou associations industrielles, agricoles, commerciales ou de transports pour lesquelles la question « météorologie » offre une importance chaque jour croissante. Toutes sont venues à nous, avec la spontanéité la plus entière. Le but que nous poursuivons et dont le premier est la réalisation uniforme et synthétisée des stations météorologiques et des observations devant conduire à l'établissement d'une climatologie agricole et complète, nécessitait la création tout d'abord d'un *Comité Météorologique* formé de délégués de tous les organismes que nous venons de citer, placé sous la haute direction du Directeur de notre Institut royal météorologique; ce Comité élaborera les règles d'une action commune pour la solution

des problèmes qui lui seront soumis par ses propres membres et par nous-mêmes. Les décisions qu'il prendra laisseront d'ailleurs aux organismes qu'il représente la plus entière liberté dans l'exécution.

A l'heure actuelle ont adhéré à notre projet :

L'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux (délégué M. Poskin) ;

Le Comité national du Kivu (délégué M. l'ingénieur Vander Heyden) ;

Le Comité spécial du Katanga (délégué M. Delevoy, inspecteur des eaux et forêts) ;

L'Union Minière du Haut Katanga (délégué M. l'ingénieur Terwagne) ;

La Société anonyme des Huileries du Congo belge (délégué M. le major Paternotre) ;

La Compagnie du Kasaï (délégué M. l'Administrateur Van Hulst) ;

Le Jardin botanique de l'Etat représenté par M. le Directeur de Wildeman ;

La mission du Kwango (délégué, le R. P. Vande Ryst) ;

La Mission de Scheut ;

La Société internationale forestière et minière du Congo (délégué M. Polinard, géologue).

Comme on le voit, aucune partie du vaste territoire de notre colonie, grâce à cette collaboration générale, ne restera soustraite aux études exigées par notre programme et de cette collaboration effectivement réalisée pourront résulter pour le bien général des avantages inespérés.

Il nous a paru nécessaire et utile, au jour où pour la première fois, se réunissent en Congrès nos sociétés scientifiques belges, d'exposer aussi brièvement que possible, devant celui-ci, dans notre section météorologique, l'intervention scientifique de notre Société belge d'Astronomie et de Météorologie prise à notre initiative. Il y a ici la démonstration du rôle utile qu'une Association scientifique peut jouer, là où le travail personnel seul serait impuissant. Nous aimons aussi à rappeler que, à l'origine de la création de notre société, Fernand Jacobs, son président, avait déjà pris, en ce qui concerne l'étude du climat congolais, une heureuse initiative ; c'est à son intervention que furent dues notamment les observations poursuivies à Kisantu et qui ont été analysées dans notre bulletin par J. Vincent. On sait le rôle primordial qu'ont joué dans notre pays comme « animateurs » des sciences astronomiques Houzeau et Fernand Jacobs, le premier comme fondateur de la Revue *Ciel et Terre*, le second comme créateur de la Société belge d'Astronomie ; qu'il me soit permis de rappeler les titres de reconnaissance que doit aussi à ce dernier la météorologie de notre Congo.

Les problèmes qui se poseront au « Comité météorologique Congolais », très différents de ceux qui sollicitent en Europe notre attention, seront très variés. Le premier, certes, est celui de la réglementation, des stations d'observations climatologiques et de l'uniformisation des instruments et des méthodes. Ici le travail est déjà tout préparé et nous avons déjà pu, avant la lettre, rédiger sous la tutelle de notre Institut royal météorologique des instructions générales, simples mais précises que les

stations météorologiques nouvelles du Kivu pourront utiliser et que nous leur avons remises.

La question de la prévision du temps ne se pose pas dans notre colonie sous les aspects qu'elle possède ici. Les orages tourbillonnaires que l'on nomme « tornades » l'amènent sous une autre forme. On sait l'importance africaine des transports aériens ; la nouvelle organisation devra étudier comme M. Berce nous l'a déjà dit, la prévision de ces météores, et leurs trajectoires probables ainsi que leur signalisation par T. S. F. La convention récemment signée avec le Gouvernement français pour la ligne de transport vers Madagascar qui passe au Nord-Est du territoire rend la solution du problème encore plus urgente.

Mais la question des eaux, dans l'atmosphère, dans le sol sous forme de liquide ou de vapeurs et tous les problèmes qu'elle soulève, au point de vue de l'agriculture, sera au Congo, pour le météorologiste, la question capitale sur laquelle devront porter ses études et il n'y aura pas trop de toutes les bonnes volontés et de tous les concours pour la résoudre en partie.

SITUATION DES TRAVAUX GÉODÉSIQUES AU CONGO BELGE

par J. MAURY,

Ingénieur en chef au Ministère des Colonies

Les premiers travaux destinés à la détermination de points pouvant constituer canevas fondamental au Congo Belge commencèrent en 1890, avec la mission de Delporte et Gilis qui releva, astronomiquement une série de stations depuis l'embouchure du fleuve Congo jusqu'à Stanleyville. Les instruments employés étaient un cercle méridien portatif et des chronomètres de marine. La latitude était déduite des observations de hauteurs méridiennes ; l'heure, de passages méridiens ; la longitude s'obtenait par transport chronométrique du temps, l'état absolu étant déterminé à des intervalles assez longs par la méthode des culminations lunaires.

Lemaire reprit l'application de ces méthodes pour ses explorations au Katanga, dans l'Uele et aux confins du Bahr-El-Ghazal.

Cabra les utilisa également le long des frontières du Bas-Congo.

Les premières applications du procédé de triangulation furent faites par Cabra pour la détermination du parallèle de Noki, frontière entre le Congo et l'Angola, entre le fleuve et le Kwango. Il s'agit là d'une triangulation plane souvent poussée par des procédés de reconnaissance et calculée en coordonnées rectangulaires. Les débuts du réseau actuel remontent aux travaux de délimitation des frontières orientales de la Colonie qui commencèrent en 1900, au Nord du Lac Tanganyka. La première mission qui fit une application rationnelle de la triangulation fut la mission germano-belge Ruzizi-Kivu, dont le commissaire belge était le commandant Bastien, et le commissaire allemand le hauptmann Hermann, auquel était adjoint comme collaborateur technique, le professeur Lamp.

La mission mesura au ruban d'acier, une base dans la plaine d'Usumbura, et fit en un point origine, à proximité de cette base, des observations de latitude par les hauteurs méridiennes et de longitude par les culminations lunaires. Une chaîne fut mesurée le long de la Ruzizi, et des rives du lac Kivu et une vérification de base fut faite à proximité du poste allemand de Kissegnies.

Les calculs de coordonnées furent faits, du côté belge à l'aide des formules employées à l'I. C. M. à Bruxelles, appliquées à l'ellipsoïde de Bessel. A cette première mission succédèrent d'autres que nous citons ci-dessous dans l'ordre chronologique, de 1904 à 1911.

Mission d'abornement du 30[e] méridien.

Mission anglo-congolaise Uganda-Congo.

Mission anglo-germano-belge, Kivu Ufumbiro, au cours desquelles fut établie une première ossature triangulée, entre le lac Tanganyka et le lac Albert, ossature réunie à la chaîne anglo-allemande du premier parallèle Sud.

L'origine des coordonnées fut reportée à l'extrémité de ce parallèle : au point de Ihunga, relié par triangulation à Zanzibar. La divergence entre la longitude de Ihunga et celle que fournissait l'observation par culminations lunaires faite à Usumbura fut trouvée égale à 1′ 45″, divergence compréhensible vu la faible sensibilité du procédé utilisé.

Au cours de ces travaux, les méthodes de mesure et de calcul se perfectionnèrent et se stabilisèrent ainsi que nous l'exposerons plus loin.

Au cours de 1908, à la suite de négociations, entre la Grande-Bretagne et le Congo, fut entreprise, de commun accord, la mesure d'un arc de méridien de 2° le long du 30 E G, de 1° N. à 1° S.

Le délégué belge était M. Dehalu, actuellement administrateur inspecteur de l'Université de Liége, les délégués anglais étaient le capitaine Jack, aujourd'hui directeur de l'Ordnance Survey à Southampton et M. Mac Caw. Une base de départ de 16 km. 500 fut mesurée en commun à l'aide du fil d'invar, les mesures d'angles de la chaîne furent assurées par l'équipe anglaise ; M. Dehalu assura le travail astronomique soit 14 latitudes et 3 azimuts.

En 1911, les travaux de triangulation commencèrent au Sud entre la Rhodésie et le Katanga. Partant de la triangulation rhodésienne aux environs de Serenje, ils furent poussés le long de la crête Congo-Zambèze jusqu'au 24° E. G. puis, le long du méridien de Panta jusqu'au lac Bangweolo.

Une autre chaîne établie entre le lac Moëro et le Tanganyka, prit appui sur l'extrémité septentrionale de la chaîne rhodésienne. Le réseau Moëro Tanganyka fut prolongé en 1914 jusqu'au Nord de la Lukuga, tandis que la chaîne de la crête Congo-Zambèze était étendue jusqu'au Kasaï.

Les travaux, interrompus par la guerre, furent repris après l'armistice au cours des missions suivantes :

Mission de délimitation Angola-Congo, qui assura le repérage des régions frontières entre les possessions portugaises et belges, ses travaux furent prolongés dans la région comprise entre le méridien de Léopoldville et l'Atlantique par la mission du Bas-Congo.

Mission cartographique de Kilo-Moto qui établit le canevas triangulé du Haut-Ituri et du Haut-Kibali.

Mission de délimitation Ruanda-Urundi dont les travaux permirent la jonction en première approximation de l'arc Uganda-Congo à l'extrémité du réseau Sud, au Nord de la Lukuga.

Les travaux de cette mission furent étendus à l'intérieur du Ruanda-Urundi et continuent actuellement dans les régions montagneuses à l'Ouest du Graben des Grands Lacs.

Entretemps, le Comité spécial du Katanga avait constitué un service

cartographique qui, s'appuyant sur la chaîne Congo-Zambèze assure actuellement l'extension du réseau triangulé dans la zone comprise entre le cinquième parallèle Sud, le vingt-quatrième méridien E. G. et la frontière Sud-Est de la Colonie.

Une mission prolonge actuellement ce travail, du vingt-quatrième méridien E. G. au Kasaï, dans la région au Sud du dixième parallèle.

D'autres travaux de détails sont en cours également, notamment la délimitation cadastrale entre le Katanga et la Rhodésie, et la triangulation hydrographique du Kasaï entre Port-Francqui et l'embouchure de cette rivière, ces deux travaux présentent un caractère spécial sur lequel nous ne pouvons nous étendre ici.

On peut évaluer à 9.000 kilomètres de chaînes l'étendue actuelle du réseau trigonométrique dont nous donnons ci-après les caractéristiques générales. Dix-sept bases sont réparties sur le réseau.

I. *Arc Uganda-Congo.* — Cet arc forme un chaînon de l'arc de méridien du 30° E. G. projeté par l'astronome royal du Cap, Sir David Gill, le long du méridien continental le plus long.

Appuyé sur une base de 16 km. 500 mesurée dans la vallée de la Semliki, au Sud du lac Albert, il comprend trois quadrilatères et deux figures complexes réunissant seize points. L'erreur probable absolue de la base est de ± 14 mm. 92 soit $\frac{1}{1.108.000}$, la moyenne de l'erreur de fermeture des triangles est $0''.812$.

Le calcul de la chaîne et la discussion des résultats ont été publiés par le gouvernement anglais dans une brochure intitulée *Colonial Survey Committee, Report of the Measurement of an Arc of Meridian in Uganda.*

Les calculs ont été faits sur l'ellipsoïde de Clarke de 1880, sur lequel a été transféré l'arc de Rhodésie. Des observations de latitude furent faites à tous les sommets sauf aux extrémités de la base et des observations d'azimut en trois points.

Les résultats de ces observations ont été publiés dans le mémoire intitulé *Observations astronomiques faites à l'occasion de la mesure d'un arc équatorial de méridien en Afrique* par M. Dehalu et publiées en collaboration avec M. Hermans. Ont été publiés également les résultats des observations magnétiques faites dans cette même région par M. Dehalu.

La comparaison des valeurs astronomiques aux valeurs géodésiques ont montré l'existence de déviations de verticales très fortes dans la partie Nord de l'arc. La plus considérable atteint : $40''.161$ et correspond à la traversée du Graben des Grands-Lacs entre le Sud-Ouest du lac Albert et le Ruwenzori. Cette déviation fausserait de 1,200 mètres environ, la longueur d'un côté de 60 kilomètres. Il résulte de là que si l'on cherche à réaliser pour le continent africain, sur l'arc du trentième méridien, un point d'origine analogue à l'American Datum de Meades Ranch, il ne peut être placé aux environs de l'équateur.

La question du prolongement de l'arc et de son raccordement vers le

Sud à l'arc de Rhodésie et vers le Nord à la chaîne égyptienne du Nil est actuellement à l'étude. Ce travail incombera à la Belgique dans toute la traversée du Ruanda-Urundi et, en partie au moins, le long du lac Albert. Il est à souhaiter que des déterminations de longitudes précises puissent compléter les mesures astronomiques qui accompagneront le travail.

L'arc du trentième fournira au Congo belge un axe rigide qui serait heureusement complété par un arc de parallèle le long du 6° Sud.

II. *Réseau général.* — Les diverses chaînes décrites plus haut constituent au point de vue géodésique des travaux de première approximation dont les caractéristiques sont les suivantes :

La précision des observations correspond à celle du deuxième ordre géodésique (fermeture moyenne des triangles : 5″, mesures par angles indépendants au poids 16, à l'aide de théodolites munis de microscopes à vis micrométriques sur les deux cercles).

Le long des frontières, le réseau est constitué par une chaîne de figures simples (triangles, quadrilatères ou polygones) ayant entre elles un côté commun. Les sommets de ces figures sont considérés comme points principaux. Des points secondaires sont déterminés à l'intérieur et de part et d'autre de la chaîne de manière à réaliser une densité d'environ un repère par carré de 10 kilomètres de côté, suffisant pour assurer le levé du détail à l'échelle du 1/200.000 ou du 1/100.000.

Le nivellement est trigonométrique, les différences du niveau entre sommets principaux s'obtiennent par visées réciproques ; pour les points secondaires par visées simples mais multiples.

Tous les cent kilomètres environ, il est mesuré un azimut astronomique destiné à vérifier la torsion de la chaîne. La méthode appliquée est celle de l'angle de hauteur du soleil ou des étoiles. Tous les trois cents kilomètres en moyenne, est mesurée une base, en général à l'aide des fils d'invar, parfois à l'aide de rubans d'acier préalablement étalonnés. Il est ordinairement fait aux emplacements de bases, des observations de latitude par les hauteurs circomméridiennes.

Quand le réseau s'étend en surface comme c'est le cas pour le Katanga, le Bas-Congo, le Ruanda-Urundi, le Kivu et Kilo-Moto, les chaînes sont agencées en circuits fermés formant de larges mailles, à l'intérieur desquelles on fait un remplissage de manière à réaliser la densité de points voulue. Les mesures de bases et d'azimuts y sont reportées, de préférence vers les nœuds.

Les calculs se font en deux approximations.

La première, qui est seule appliquée dans le cas de chaînes simples, consiste à compenser les diverses figures séparément. Cette compensation se fait en supposant tous les angles de même poids ; des formulaires rendant le calcul plus facile sont employés pour les quadrilatères et les polygones. Les transports de coordonnées se font sur l'ellipsoïde de Clarke de

1866, à l'aide des formules de Puissant sous la forme employée par le Coast and Geodetic Survey.

Pour les réseaux à circuits fermés, il est fait une seconde approximation destinée à assurer la fermeture rigide des circuits. Ces fermetures sont réalisées à mesure du développement du réseau de manière à garder à ce dernier une rigidité géométrique complète. La fermeture d'une chaîne est alors obtenue comme suit : la partie antérieurement compensée du réseau étant considérée comme fixe ; il est fait dans la chaîne une sélection de triangles de manière à la ramener à l'ensemble des triangles les plus favorables entre la base de départ et le côté de fermeture. Partant des valeurs d'angles compensés en première approximation, on écrit les équations de fermeture sur azimuts et sur bases et les équations de fermeture sur coordonnées.

L'ensemble est traité par la méthode des observations conditionnelles, pour obtenir les corrections à faire aux angles. Les triangles et les coordonnées sont calculés, fournissant les valeurs des éléments employés pour l'extension du réseau. Les bases mesurées sont incorporées rigidement dans la compensation.

Pour ce qui concerne les nivellements, ceux-ci sont compensés rigidement par circuits fermés le long des chaînes, et il est fait usage des différences de niveau ainsi rectifiées pour la fixation du coefficient de réfraction destiné au calcul des cotes des points secondaires et de détails.

Par suite de l'immense étendue du territoire et par suite des circonstances, le réseau s'est développé séparément à l'Est et au Sud, avec des origines forcément différentes.

Ces deux groupes de triangulations ont été réunis après la délimitation du Ruanda-Urundi. Le point de jonction a été choisi à Nyanza (S. W.) à proximité de la base de ce nom, située sur le bord oriental du lac Tanganika, à l'extrémité méridionale de l'Urundi. La compensation de la partie Nord et de la partie Sud fut faite rigoureusement par figures et des conditions de liaison rigide à la base de Nyanza furent alors calculées, de l'arc Uganda-Congo à Nyanza (S. W.) et de l'arc de Rhodésie vers ce même point. Les différences obtenues sont très faibles vu la longueur du transport et l'incertitude de la longitude pour le réseau septentrional ; elles sont données ci-dessous :

NYANZA (S. W.).

	Latitude	Longitude	Azimut
Par le Sud	– 4°20′30″,718	– 29°,35′52″,806	277°21′37″,61
Par le Nord	34″,705	51″751	29″,81
Différence S-N	– 3″,987	+ 1″,055	+ 7″,80

La divergence en latitude est faible, étant donné les déviations constatées dans la région où a été choisi le point origine Nord.

En longitude, la concordance est remarquable, c'est en réalité la fermeture d'une chaîne allant de Zanzibar au Cap.

La fermeture en azimut paraît moins favorable, mais est assez déli-

cate à discuter vu le manque d'observations entre les deux extrémités de la chaîne de réunion.

En conséquence aucune liaison rigide n'a été maintenue entre les deux réseaux, elle ne pourra être faite qu'après le prolongement des travaux de premier ordre qui sont à l'étude.

Des expériences sont en cours le long de la crête Congo-Zambèze pour arriver à fixer un équipement et une méthode d'observation convenables pour la détermination des longitudes à l'aide des signaux horaires des observatoires, une lacune importante se trouvera ainsi comblée et l'on pourra renforcer les contrôles du réseau par l'introduction d'azimuts géodésiques observés.

Il me reste en conclusion à attirer l'attention sur l'importance que présenteraient des mesures gravimétriques (pendule et balance de torsion) et magnétiques dans toute la région orientale et méridionale de la colonie. Le long du Graben des grands lacs, des mesures de gravité permettraient notamment de vérifier les hypothèses isostatiques dans des conditions particulièrement favorables.

Les mesures magnétiques et les observations à la balance de torsion, fourniraient probablement des indications intéressantes au point de vue de la localisation des richesses minières.

6e Section : Géologie

Président : M. Rutot.
Vice-Président : M. Asselberghs.
Secrétaire : M. Camerman.

Séance du 30 juin 1930 à 9 h. 15.

Président : M. A. Rutot.

M. Rutot prononce une allocution dans laquelle il remémore l'évolution des sciences géologiques en Belgique au cours des cent dernières années.

M. Camerman, Secrétaire de la section, informe les membres présents que, par suite des fêtes du centenaire de la Société Géologique de France qui se tiennent précisément à Paris en ce moment, la plupart de nos géologues n'ont pu participer au Congrès et qu'il se trouve dans l'obligation de lire lui-même une grande partie des communications.

En conséquence, le secrétaire donne lecture des communications suivantes :

Mlle Suzanne Leclercq : *Progrès réalisés jusqu'ici en botanique et en géologie par l'étude des végétaux houillers à structure conservée des Coalballs de la couche Bouxharmont.*

MM. F. Kaisin et A. Grosjean : *Note sur un conglomérat d'âge viséen supérieur recueilli à Samson.*

M. E. Mailleux : *Nouvelles observations sur le Silurien de Belgique.*

M. H. Buttgenbach : *Sur le Développement des Etudes Cristallographiques et Minéralogiques en Belgique.*

M. E. van den Broeck présente sa communication sur : *La question des Eaux potables en Belgique.*

Cette communication donne lieu à un échange de vues entre les membres présents au sujet de la pénurie des eaux potables et industrielles dans la Basse Belgique et concernant les moyens d'y remédier.

M. G. Mortelmans, présente une note concernant : *Une coupe à travers le Pléistocène et l'Holocène de la Vallée de l'Escaut à Antoing.*

Séance du 2 juillet à 9 h. 30.

Président : M. A. Rutot.

Le Président donne lecture d'une lettre de M. le Dr J.-M. Dersgheid demandant à la Section de Géologie de s'unir aux autres sections pour

demander à l'assemblée générale du Congrès de voter une motion invitant le Gouvernement belge à prendre des mesures pratiques pour éviter la destruction des espèces et des sites naturels qui présentent, en territoire belge, un intérêt spécial pour la Science. Il prie la Section de Géologie de déléguer un représentant au sein de la Commission qui sera chargée de présenter la motion.

La proposition de M. le Dr Dersgheid est adoptée à l'unamité des membres présents et M. E. van den Broeck est chargé de représenter la Section de Géologie dans la Commission en question.

La parole est ensuite donnée à :

M. A. Renier : *Historique des Levés géologiques de la Belgique.*

M. F. Corin : *Note sur le Métamorphisme de contact dans les terrains anciens du Congo belge.*

M. M. Leriche : *Les relations du Dévonien continental et du Dévonien marin sur la bordure européenne du Continent Nord-Atlantique.*

Le Secrétaire donne ensuite lecture des communications suivantes :

M. E. Asselberghs : *Les Poudingues Dévoniens et les facies du Givétien sur le bord Nord du Synclinal de Namur.*

M. P. Fourmarier : *La symétrie Sud-Atlantique dans l'évolution de l'écorce terrestre.*

Avant de clôturer la dernière séance, le Président donne lecture du projet de motion que vient de lui remettre M. le Dr Dersgheid concernant la protection des espèces et des sites. Ce projet reçoit l'approbation de tous les membres présents.

ALLOCUTION PRÉSIDENTIELLE DE M. A. RUTOT,

Conservateur honoraire au Musée royal d'Histoire Naturelle

Chers et honorés confrères,

En installant l'assemblée pour laquelle nous sommes réunis, la première chose dont nous avons à nous rendre compte, c'est que nous sommes ici en Congrès national, se déroulant entre confrères de même culture, de même valeur scientifique, entre spécialistes n'ayant rien à apprendre au point de vue des généralités, mais pouvant s'instruire réciproquement de détails résultant de travaux personnels.

En ce qui me concerne, je n'ai rien à vous apprendre et si j'occupe cette place privilégiée, c'est que le cours des temps m'a été favorable et a fait de moi, à mon grand étonnement, un doyen, un survivant d'une époque déjà ancienne, une sorte de subfossile.

Aussi, le seul travail utile auquel je puisse me livrer en ce moment, consiste à nous remémorer ensemble et succinctement, les grandes lignes de l'évolution des sciences géologiques en Belgique, depuis la fondation de son indépendance.

Et dans un pareil énoncé évolutif, fait par un géologue, la routine vient tout naturellement s'introduire et l'idée de chronologie avec réminiscence de nos vieilles divisions en ères primaire, secondaire, tertiaire, quaternaire et moderne, vient se présenter à l'esprit

Contrairement à ce qu'elle a été dans la nature, l'époque primaire de l'évolution géologique belge, a été courte, elle se confond avec les premières études de d'Omalius d'Halloy, esprit pénétrant et lucide comme stratigraphe, mais parfois peu versé dans le mode de formation des couches.

Empressons-nous d'ajouter que cette esquisse est loin de caractériser l'homme ; d'Omalius restera pour nous l'ancêtre vénéré qui, l'un des premiers a jeté la lumière sur l'âge relatif des couches en raison de leurs superpositions et, chose à peine croyable, il a osé s'attaquer à la géologie de la France, dont il a dressé le schéma destiné à orienter ses successeurs dans la bonne voie.

Mais, du vivant même de d'Omalius, débutait, brillante, l'époque secondaire, avec l'apparition d'André Dumont, le véritable créateur de la Géologie belge, dont les travaux font encore autorité de nos jours. C'est avec une véritable admiration que nous contemplons sa Carte géologique de la Belgique et des régions voisines, qui nous fait apprécier son flair, sa perspicacité, lesquels lui ont permis, seul et sans le secours de la sonde,

de réaliser le levé des terrains tertiaires. A nos yeux, cette réalisation constitue un véritable tour de force.

D'autre part, imitant d'Omalius, André Dumont n'a pas hésité à publier une esquisse géologique de l'Europe, que nous contemplons avec un profond respect, en raison des énormes difficultés que présentait à cette époque déjà lointaine, une telle entreprise. Rappelons qu'en 1851, le grand géologue anglais sir Charles Lyell était venu en Belgique confirmer les résultats des études d'André Dumont sur nos terrains tertiaires.

On peut encore rattacher à la fin de l'époque de Dumont le professeur Gustave Dewalque et nos deux grands paléontologues de Koninck et Nyst.

Avec l'année 1865 s'ouvre l'époque tertiaire de notre histoire géologique.

C'est alors que s'affirment par leurs remarquables travaux, toute une pléiade d'actifs chercheurs parmi lesquels brillent Edouard Dupont, Alphonse Briart, François Cornet, Michel Mourlon, Constantin Malaise, et d'autres, qui entreprennent l'étude détaillée, stratigraphique et paléontologique de notre pays.

A côté d'eux se font remarquer deux savants lithologistes ; j'ai nommé Alphonse Renard et Charles de la Vallée Poussin.

Je considère comme inutile de rappeler ici les magnifiques travaux de tous ces hommes d'élite, tous vous les avez dans la mémoire, tous vous en appréciez la haute valeur.

Notre période quaternaire s'ouvre en 1880, avec à peu près les mêmes savants, auxquels vient s'adjoindre un groupe de jeunes : Ernest Van den Broeck, Purves, Forir, Delvaux, Cogels, Van Ertborn, Velge, et votre serserviteur.

Dès les premiers jours de cette nouvelle étape s'ouvre une période mouvementée due à l'exécution, par un service officiel restreint, de la Carte géologique du royaume, à l'échelle de 1/20.000, sous la direction d'Edouard Dupont.

Soulèvements, discordances de stratification, plissements, ravinements, chevauchements, rien n'est épargné pendant six ans de lutte, préludes d'une nouvelle organisation élargie, qui devait prendre cours en 1890 par le levé d'une nouvelle Carte géologique à l'échelle du 1/40.000, rattachée à l'Administration des Mines sous la direction de M. Mourlon.

A ce nouveau levé, nous voyons collaborer bon nombre des anciens adversaires dont les animosités éteintes ont fait place à la cordialité et à l'union, tous décidés à mener à bien la nouvelle entreprise.

Du reste, le temps ayant marché et de nouvelles et précieuses collaborations telles que celles de Jules Cornet, Stainier, Dormal, chanoine de Dorlodot, viennent renforcer le groupe de travailleurs. Ceux-ci de 1890 à 1900, parcourent le pays en tous sens et, en 1900, l'on pouvait considérer le levé et la publication de la nouvelle Carte à l'échelle du 1/40.000 comme terminés.

Ainsi se clôturait notre époque quaternaire et débutait l'époque moderne dont nous pouvons fêter aujourd'hui le trentenaire.

Cette époque se distingue nettement des précédentes par son caractère expansif. En effet, jusqu'en 1900, les géologues belges s'étaient presque exclusivement occupés de la connaissance détaillée du sol et du sous-sol de notre pays, mais le roi Léopold II, soucieux de l'avenir matériel de la Patrie, nous avait largement ouvert, au centre de l'Afrique arrosé par le fleuve Congo, d'immenses territoires à peu près inconnus qui promettaient, aux futurs explorateurs, des découvertes et des résultats importants.

L'expansion coloniale, étendue au Congo et à quantité d'autres territoires lointains, caractérise donc principalement notre époque moderne.

Rappelons en passant, que le premier géologue belge qui se soit rendu au Congo, dès 1888, est Edouard Dupont, auquel est due l'exploration du Bas-Congo et des monts de Cristal jusqu'au Stanley Pool, en suivant la piste sauvage et désertique parcourue actuellement par la ligne du chemin de fer.

Depuis ce raid déjà lontain, quantité de nos confrères se sont mis à explorer l'intérieur du pays jusqu'à ses limites et en certaines régions, comme au Katanga, de merveilleuses découvertes ont permis l'exploitation active de matériaux utiles : métaux précieux, métaux utiles, combustible, pierre à chaux, etc.

Depuis Edouard Dupont, la liste des pionniers de la civilisation et de la grande industrie s'est enrichie des noms de quantité de nos confrères parmi lesquels il faut citer Jules Cornet, Fourmarier, Denaeyer, Delhaye, Sluys, etc.

Mais notre colonie est loin d'avoir absorbé l'activité de nos savants et habiles prospecteurs; sollicités selon leurs mérites, ils se sont élancés dans tous les pays d'Europe, d'Afrique, d'Asie et d'Amérique, et nous reconnaissons parmi ces courageux explorateurs, outre ceux déjà nommés, nos confrères Asselberghs, Stevens, Van Straelen, Franz Halet, Thoreau, Schoep, l'abbé Salée, et bien d'autres.

Hâtons-nous d'ajouter que notre poussée extensive et utilitaire n'a nui en rien à la continuation de l'étude, toujours plus détaillée, du sol et du sous-sol belge. Bien au contraire, les recherches se sont multipliées, même à grande profondeur, notamment dans notre si important bassin houiller étendu maintenant à la Campine, grâce aux remarquables travaux de nos confrères Renier et Stainier.

Et nos géologues ne semblent avoir nulle intention de se reposer sur leurs lauriers, car à peine le levé de la carte au 1/40.000 était-il réalisé, qu'il était question d'une nouvelle édition revue et corrigée, pour l'exécution de laquelle une commission a été nommée.

Cette commission sous la présidence de M. Lebacqz, directeur général des mines et de son animateur M. Renier, n'a certes pas perdu son temps, car elle a non seulement mis sur pied la légende détaillée de la nouvelle carte projetée, mais elle a établi un catalogue raisonné et aussi complet que possible de tous les matériaux utiles pouvant se rencontrer dans le sol et le sous-sol du royaume.

Nos confrères qui ont collaboré à cette œuvre de première utilité sont, outre le président Lebacqz et le secrétaire Renier, MM. feu Jules Cornet, Stainier, Leriche, Asselberghs, Franz Halet, Kaisin, feu Max Lohest, Fourmarier, Van Straelen, et moi-même.

Je croyais, après ce rapide aperçu, vous avoir donné une esquisse du mouvement géologique en Belgique pendant le premier centenaire de notre indépendance, mais je m'aperçois que j'ai omis de parler de deux des éléments les plus actifs de ce mouvement.

Il est naturellement question de nos grandes sociétés géologiques : la Société géologique de Belgique et la Société belge de Géologie.

Ces deux organismes ont pris naissance dans la tourmente du début de notre période quaternaire et, d'abord, elles paraissaient vouées à une marche parallèle, mais les conditions vitales s'étant depuis longtemps modifiées, elles se sont volontiers tendu la main et elles ne constituent plus actuellement que deux sœurs animées du même esprit de progrès continu. Elles ont obéi ainsi à la grande loi de la finalité universelle qui peut s'exprimer comme suit : tendance permanente de l'unité fonctionnelle des parties individualisées, par coordination harmonieuse des éléments, à la fois évolutive et progressive.

Je crois, mes chers confrères, vous avoir dit brièvement ce qu'il convenait de dire pour célébrer le premier centenaire de la Géologie nationale.

Je suis le premier à savoir qu'il y a, dans cet exposé, bien des lacunes, mais je suis tout aussi certain que vous les comblerez vous-mêmes sans difficulté.

Terminons donc en nous félicitant du beau travail accompli et en affirmant que les géologues belges ont bien mérité de la patrie. D'autre part, je les vois entamer avec vaillance le cours d'un deuxième centenaire, qui promet d'être plus brillant à la fois en théorie et en pratique, que celui qui vient de s'écouler sous nos yeux.

PROGRÈS RÉALISÉS JUSQU'ICI EN BOTANIQUE ET EN GÉOLOGIE PAR L'ÉTUDE DES VÉGÉTAUX HOUILLERS À STRUCTURE CONSERVÉE DES COALS-BALLS BELGES

par Suzanne LECLERCQ,

Chef des travaux de Paléontologie à la Faculté des Sciences de l'Université de Liége.

Les premières découvertes de végétaux à structure conservée faites en Belgique remontent à une quinzaine d'années mais ce ne fut qu'au cours des années de guerre que les nodules en veine, les vrais coal-balls furent découverts après avoir été longtemps cherchés.

Les coal-balls dont j'ai entrepris l'étude depuis 1922, ont été découverts par M. Humblet, ingénieur en chef aux charbonnages de Wérister ; ils ont été généreusement offerts au laboratoire de Paléontologie végétale de l'Université de Liége grâce à la gracieuse intervention de M. Armand Renier, chef du service géologique de Belgique et chargé de cours à l'Université de Liége.

Depuis huit ans, je travaille les coal-balls de la couche Bouxharmont, et leur examen m'a permis de faire des observations non seulement d'anatomie mais encore d'ordre général en botanique et en géologie, comme nous le verrons au cours de cette note.

Il importait tout d'abord de faire connaître à l'étranger la richesse paléontologique découverte en Belgique. Une description [1] sommaire et une ample figuration des diverses familles, genres et espèces constituant la flore de Bouxharmont s'imposait donc.

Ce premier examen a prouvé le parallélisme étroit existant entre l'assise de Châtelet et les Lower-Coal Measures anglais, concluant dans ses grandes lignes à l'analogie des flores du houiller belge et anglais.

J'ai dit, dans ses grandes lignes parce que certains groupes, tels les Ptéridospermées, quoique leurs empreintes abondent dans l'assise de Châtelet et soient extrêmement communes dans les coal-balls anglais, sont presque totalement absentes dans ceux de Bouxharmont.

De plus, des espèces nouvelles, propres à notre gisement ont été signalées et plus tard, comme nous le verrons, étudiées en détail.

Les variations de flores dans les tourbières houillères, distantes de plusieurs centaines de kilomètres n'ont rien que de très naturel. Les marais équatoriaux de notre Congo nous en donnent des exemples curieux comme il en sera fait mention plus loin.

[1] S. Leclercq, *Les coal-bals de la couche Bouxharmont des charbonnages de Wérister (Mém.*, in-4°, *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **6** [1925]).

Un travail d'ensemble étant publié, des études détaillées de plantes intéressantes devaient suivre ; c'est alors que sept notes parurent successivement.

Note I. (²) — Jusqu'alors les cordaites faisaient défaut dans le gisement ; ayant rencontré dans un nodule, trois types de feuilles : *Cordaites felicis* Benson, et *Cordaits weristeri*, α et β, Leclercq, ils furent décrits. *Cordaites weristeri* α et β, représentent à mon avis, deux sections transversales faites à différents niveaux dans le limbe d'un même type de feuille plutôt que deux espèces distinctes. La variété α proviendrait d'une section faite vers la base de la feuille, possédant dans sa partie apicale la structure présentée par la variété β.

Ces deux formes représentent probablement la structure interne du limbe d'une empreinte connue : *Dorycordaites palmœformis* de Goeppert reconnue avec doute, il est vrai, au niveau de la couche Bouxharmont. Toutefois, la morphologie externe de cette empreinte se superpose si étroitement à l'anatomie observée chez *Cordaites weristeri* α et β qu'il est permis de soupçonner un lien étroit de parenté entre ces deux plantes.

Note II. (³) — Dans cette note, une étude complémentaire d'un *Stigmaria* à bois primaire centripète : *Stigmaria weissiana*, Leclercq, étudiée par le professeur Weiss de Manchester, est reprise, à la suite de la découverte d'états de conservation propices à un examen plus poussé de cette forme.

Note III. (⁴) — Nous faisons connaître pour la première fois le mode de formation des racines adventives, des tiges de Sphenophyllales chez *Sphenophyllum plurifoliatum*, Williamson.

Note IV. (⁵). — Grâce à l'amabilité du révérend père Dom Grégoire Fournier, le savant supérieur de l'Abbaye de Maredsous et de M. Bauchau, directeur des Charbonnages de Masses-Diarbois, j'eus l'occasion d'examiner des coal-balls d'une autre provenance ; ce qui me permit de constater une fois de plus un cas de variation locale de la flore houillère. Ici, il ne s'agissait plus de coal-balls anglais, mais de nodules provenant du bassin houiller de Charleroi, distant de quelques dizaines de kilomètres seulement de celui de Liége. Or, les coal-balls retirés de la couche Sainte-Barbe de Floriffoux de la concession de Masses-Diarbois sont d'une grande richesse en *Liginopteris oldhamia*, Binney. La plupart des nodules en contiennent deux ou trois exemplaires.

Il est curieux de constater une pareille abondance de Ptéridospermées dans une veine synonyme et relativement rapprochée de la couche Bouxharmont, alors que cette dernière en est presque totalement dépourvue.

Les coal-balls de la couche Sainte-Barbe de Floriffoux se distinguent également par une teneur supérieure en dolomie et en sidérose ; par la conservation défectueuse des végétaux. Les tissus parenchymateux sont pour la plupart transformés en fusain, ce qui tendrait à démontrer que l'imprégnation par du calcaire de la tourbière houillère s'est produite en cet endroit, à un moment où la décomposition des végétaux était assez avancée.

Note V. (⁶) — L'étude d'une nouvelle espèce d'*Etapteris*, *Etapteris renieri*,

(²) S. Leclercq, *Feuilles et Racines de Cordaitales des coal-balls de la couche Bouxharmont* (*Ann. de la Soc. Géol. de Belgique*, **51** ; *Bulletin* [1928]).

(³) S. Leclercq, *Sur un Stigmaria à bois primaire centripète* (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **51** [1928]).

(⁴) S. Leclercq, *Sur une racine adventive de « Sphenophyllum plurifoliatum »* (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **51** ; *Bulletin* [1928]).

(⁵) S. Leclercq, *A propos de quelques coal-balls de la couche Sainte-Barbe de Floriffoux* (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **51** ; *Bulletin* [1928]).

Leclercq, propre jusqu'ici au gisement de Bouxharmont fut entreprise au triple point de vue de sa morphologie, de son histologie et de ses affinités. De l'examen de la structure interne, il ressort que par les caractères anatomiques de son rachis primaire ; la formation de boucles périphériques temporaires lors de la rentrée des éléments ligneux des rachis secondaires ; les dimensions réduites des axes ligneux et la longueur des entre-nœuds, cette forme présente des caractères collectifs au genre *Dineuron* et au groupe des *Etapteris* à antennes grêles, établissant par son intermédiaire une filiation probable entre eux. De ce fait, on serait amené à rechercher du côté des *Metaclepsidropsis*, la souche du groupe homogène des *Etapteris* à antennes bien développées.

Note VI. (7) — Dans ce travail, j'étudie une espèce de *Stigmaria : Stigmaria bacupensis*, Scott et Lang, signalé en Angleterre, en Hollande, en Allemagne, et surtout bien représenté en Belgique.

L'axe principal et ses appendices sont abondants dans les coal-balls de Bouxharmont, c'est pourquoi, étant donné la beauté du matériel de recherche et les particularités intéressantes de sa structure anatomique, j'ai entrepris un examen détaillé de cette forme

Elle se distingue des autres *Stigmaria* par un bois primaire massif formé d'éléments spiralés et développés sans direction apparente (ni centripète ni centrifuge); par son écorce externe comprenant une zone glanduleuse bien différenciée et un périderme en partie constitué de plages cellulaires ayant subi des divisions secondaires nombreuses. Les appendices, par la fixité de leur structure anatomique nettement tranchée suffisent à eux seuls à défaut d'axes, à révéler dans un gisement la présence certaine de *Stigmaria bacupensis.*

Cette forme constitue un type à la fois primitif et évolué. Primitif, par l'absence de direction dans le développement du bois primaire ; évolué, par la différenciation très poussée de son écorce externe et de ses appendices. Ces derniers caractères empêchent de considérer *Stigmaria bacupensis* comme souche de nombreux types de *Stigmaria* à bois primaire centripète ou centrifuge rencontrés à l'époque houillère dont l'écorce et les appendices présentent une structure plus simple.

Pour nous, le *Stigmaria bacupensis* est un rameau brisé de l'arbre généalogique des *Stigmaria* évolué dans une certaine direction, se rattachant à un *Stigmaria* jusqu'ici hypothétique dont la structure présenterait par exemple un bois primaire massif développé sans direction apparente accompagné de tissus corticaux et d'appendices à structure peu différenciée.

En dehors des recherches anatomiques signalées ci-dessus, je me suis intéressée à d'autres problèmes en relation avec les coal-balls. C'est ainsi qu'ayant eu l'occasion de prendre connaissance d'un levé cartographique de deux régions marécageuses de la forêt équatoriale de notre Congo (8), dressé par M. Collignon, ancien administrateur colonial, je fus frappée par la forme particulière présentée par ces marais. Ceux-ci, au lieu de représenter comme les marais de chez nous de vastes étendues herbeuses à contour assez régulier se ramifient en tous sens en bras d'importance variable offrant cette particularité curieuse d'être digités. Ces marais appartiennent à des bassins contigus mais indépendants l'un de l'autre.

Je tirai des observations botaniques que M. Collignon avait faites et

(6) S. Leclercq, *Etapteris renieri*, Leclercq, sp. nov. (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **52** ; *Bulletin* [1929]).

(7) S. Leclercq, *A Monograph of « Stigmaria bacupensis »*, Scott et Lang (*Annals of Botany*, **44**, 173 [January 1930]).

(8) S. Leclercq, *Observations sur la sédimentation dans la forêt équatoriale* (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **49** ; *Bulletin* [1926]).

voulut bien me communiquer les conclusions suivantes : *Des marais très voisins peuvent présenter une analogie frappante dans leur flore ; ils peuvent aussi être colonisés par des espèces végétales très différentes.* Me reportant alors à ce que nous enseignent la géologie et la paléontologie végétale : à savoir que la houille a été formée par des végétaux qui ont vécu, sont morts sur place et se sont décomposés à la manière des tourbières, je constatai que ces observations appliquées aux tourbières houillères me permettaient de faire des constatations du plus haut intérêt. Elles nous incitent en effet à nous montrer prudents dans l'établissement de synonymies entre des couches de houille d'un bassin à l'autre et d'un pays à l'autre en se basant sur la similitude de flore uniquement. *Deux couches de houille de bassins différents ayant même toit, même mur, même flore ne représentent pas nécessairement deux tronçons d'une même couche ; elles peuvent constituer deux couches géographiquement indépendantes mais synchroniques.*

Au point de vue stratigraphique, je me livrai à une série d'expériences de tectonique sur des systèmes de lentilles de saindoux (couches tendres) comprises entre des lits de sable (couches dures) représentant des digitations de marais appartenant soit à un même bassin orographique, soit à deux bassins différents.

Dans le premier cas, j'arrivai à démontrer que *deux lentilles de houille plus ou moins parallèles indépendantes l'une de l'autre mais voisines subissant deux poussées successives d'égale intensité mais opposées en direction se comportent comme une seule couche continue.* C'est-à-dire, se rejoignent en une couche continue boudinée et renflée dans la charnière du pli provoqué par les poussées, donnant lieu à l'interprétation d'étranglement tectonique d'une seule couche unique à étreinte.

Dans le second cas, *que deux lentilles de houille appartenant à des bassins différents et placées en regard l'une de l'autre, soumises à deux poussées successives de même force mais opposées en direction se comportent comme une seule couche tendre continue, entre deux couches dures* ; c'est-à-dire fluent et se concentrent en un anticlinal unique prenant l'aspect d'une couche unique de houille renflée dans une charnière d'anticlinal.

Ces expériences font entrevoir de nouvelles interprétations possibles de certaines particularités tectoniques toutes spéciales au houiller.

Lorsqu'on étudie les formations géologiques de cette époque, on doit avoir présent à l'esprit, non seulement la façon dont se comporte la houille (couche tendre), comprimée entre les grès et schistes (couches dures) des morts terrains, mais encore le mode primitif de répartition géographique des tourbières houillères. Observations malaisées d'ailleurs et trop souvent rendues incertaines par les accidents tectoniques tels que failles, décrochements, gauchissements qui altèrent, compliquent la stratigraphie primitive.

Enfin, manipulant journellement les coal-balls, le problème complexe

et encore très obscur de leur genèse devait fatalement se poser à mes yeux. En collaboration (9) avec M. le professeur Fraipont, j'ai tenté non de résoudre le problème mais de l'éclairer à la lumière des observations faites dans la nature actuelle ce qui, à notre sens, est la seule bonne méthode.

Dans tous les cas connus, les couches de houille qui renferment des concrétions calcaires avec végétaux à structure conservée sont surmontées d'un toit à faune marine. Dans la couche Bouxharmont, les nodules du toit renferment des coquilles de *Goniatites* pyritisés ; au contraire, la couche de houille renferme des nodules calcaires ? Que s'est-il passé ?

Certaines observations faites dans un petit marécage des environs d'Argenteau, nous font croire que le calcaire qui imprègne les nodules de la couche viendrait de la dissolution du calcaire des coquilles du toit et que la formation de pyrite (le fer étant commun dans tous les sédiments) qui imprègne les coquilles (*Goniatites*) et les nodules du toit, proviendrait du dégagement d'acide sulfhydrique produit par la décomposition lente et à l'abri de l'air des végétaux enfouis dans le sapropel du marais. Il y aurait eu migration de matière, un échange de substance entre la couche et le toit.

Bien entendu, les combinaisons chimiques qui ont dû se produire ont été infiniment plus complexes que le simple jeu de réaction esquissé ci-dessus. Dans les tourbières et les sapropels, il se forme par décomposition à l'abri de l'air des substances organiques, d'autres corps que l'acide sulfhydrique ; d'autre part, la nature n'est pas un laboratoire ordinaire, il s'y produit grâce au facteur temps des réactions pratiquement irréalisables dans un laboratoire d'étude. Mais il semble logique et vraisemblable de considérer que la formation des coal-balls, c'est-à-dire, l'imprégnation par du calcaire de véritables parties de couches avant que celles-ci n'aient subi la houillification, dépend d'une transgression marine et ne s'opère que lorsqu'au-dessus de la couche continentale tourbeuse ou sapropélienne, il se dépose un sédiment marin et même un sédiment marin fossilifère.

De l'exposé ci-dessus, il ressort, me semble-t-il, que l'étude des coal-balls n'est pas intéressante seulement au point de vue purement paléobotanique et anatomique ; elle soulève divers problèmes relatifs à la botanique générale au triple point de vue de la Phyllogénie des groupes ; des associations végétales ; de l'adaptation et de la répartition des plantes suivant les milieux.

Débordant de ce cadre, elle interfère dans des questions de géologie et de stratigraphie où elle apporte sa contribution à la solution de problèmes complexes.

(9) S. Leclercq, *Migration de la matière* (*Ann. Soc. Géol. de Belgique*, **42**; Bulletin [1924]).

NOTE SUR UN CONGLOMÉRAT D'ÂGE VISÉEN SUPÉRIEUR RECUEILLI À SAMSON

par F. KAISIN,

Professeur à l'Université de Louvain,

et A. GROSJEAN,

Ingénieur géologue

Au moment où l'un de nous, se préparant à présenter l'examen d'ingénieur géologue, procédait, dans ce but, à des levés détaillés aux environs de Namèche, il releva, dans une carrière située sur le versant gauche de la vallée du Samson, dans l'angle formé par celle-ci et la route qui monte vers le village de Maizeret, la présence d'une roche très singulière qui, au premier abord, offre l'aspect d'un conglomérat à éléments arrondis

Cette roche forme une couche régulière, intercalée dans les calcaires supérieurs au niveau de la *Grande brèche*, à quelque dix mètres au-dessous de la base conventionnelle de l'assise de Chokier, qui est visible au sommet de la carrière. La pâte en est formée par un calcschiste d'un noir intense. Les éléments arrondis sont tous calcaires et présentent une forme sphéroïdale ou ovoïde. Ils sont en général, d'un gris noirâtre, nettement plus clair que leur entourage.

Ayant entrepris, sur place et au laboratoire, une étude attentive de ce sédiment. nous n'avons pas eu de peine à nous convaincre qu'il s'agit, en réalité, d'une roche poudingiforme originairement vaseuse, qui doit sa structure actuelle à la présence d'innombrables concrétions Ce n'est qu'à première vue que ces nodules peuvent faire illusion. Leur forme remarquablement régulière et leurs dimensions assez uniformes donneraient le change, si l'on n'observait, à leur surface, des protubérances arrondies et des dépressions cupuliformes telles qu'en présentent les concrétions calcaires. Il n'est d'ailleurs pas rare d'en rencontrer qui soient jumelées ; en les séparant l'une de l'autre, on fait généralement naître, sur l'une des deux, une cupule correspondant à une saillie sur l'autre. Enfin, l'examen microscopique montre que la substance de ces pseudogalets est un calcaire, essentiellement formé de grains cristallins de calcite, pigmentée par une matière charbonneuse.

Dans les lames minces, on observe quelques traces, d'ailleurs fort rares, de micro-fossiles, tels que des valves d'ostracodes ou des spicules de spongiaires. Il est à peine besoin de rappeler que beaucoup de nodules

calcaires recueillis dans des schistes, sont très fossilifères. La présence de quelques restes d'êtres organisés n'infirme donc en rien notre conclusion.

En regagnant la vallée de la Meuse, nous eûmes l'occasion d'observer les carrières de la rive droite du Samson. A notre grande surprise, nous fîmes la rencontre d'un autre conglomérat, véritable poudingue celui-là, dans l'ancienne carrière Flahault, sise au bord de la route, à peu de distance en amont de l'église de Samson.

Ce poudingue est situé au-dessus du niveau correspondant au sommet de la *Grande brèche*, mais il en est très rapproché.

Nous avons eu l'impression qu'il pouvait fort bien en constituer le sommet.

Il est formé d'un calcaire gris clair, à texture lamellaire, dans lequel sont empâtés quantité de cailloux, ordinairement discoïdes, moins souvent sphéroïdaux, de nature calcaire, comme le ciment qui les unit, mais à grain beaucoup plus fin.

On pourra probablement, dans la suite, retrouver, aux alentours immédiats, des bancs réguliers présentant des caractères identiques à ceux de chaque type de galets.

La présence d'un véritable poudingue à la partie inférieure des calcaires à *Productus giganteus* offre un intérêt considérable.

On ne manquera pas d'en tenir compte lorsqu'on tentera de reconstituer les traits paléogéographiques de l'époque dinantienne.

Elle apporte également un élément nouveau dans la question du mode de formation de la *Grande brèche* à pâte grise.

Renard y avait trouvé autrefois, à Falisolle, un galet nettement arrondi dont la découverte avait fait quelque bruit.

L'un de nous, qui s'est occupé spécialement de l'étude des Brèches dinantiennes, a observé, en plus d'un endroit, des fragments dont les angles lui paraissaient nettement émoussés. Mais ces éléments, quoique beaucoup moins exceptionnels qu'on ne pourrait croire, d'après les descriptions courantes, demeurent toujours relativement peu fréquents.

Dans la roche qui nous occupe, il n'y a pas un seul fragment à arêtes vives. Tous sont manifestement arrondis par usure et la plupart le sont complètement.

Bien que nous n'ayons observé ce poudingue, en place, que dans la seule carrière Flahault, il n'est pas probable que son gisement soit aussi étroitement localisé qu'il le paraît.

L'un de nous a rencontré un fragment de poudingue, identique à celui que nous décrivons, au sommet du versant droit de la vallée de la Meuse, en aval du village de Samson.

Les recherches qu'il compte poursuivre tout prochainement, lui permettront probablement de déterminer l'aire occupée par ce très intéressant facies, dont l'apparition semble se manifester à l'approche de la zone géographique où la véritable *Grande brèche* fait place à des calcaires massifs.

NOUVELLES OBSERVATIONS SUR LE SILURIEN DE BELGIQUE

par Eugène MAILLIEUX,

Conservateur au Musée royal d'Histoire naturelle

En 1926, dans deux notes, consacrées à l'Ordovicien et au Gotlandien de la Belgique (¹), j'ai cherché, en me servant des données alors connues de la paléontologie, à établir les bases d'un classement stratigraphique détaillé des formations siluriennes du Brabant, de la région de Sambre et Meuse, et de l'Ardenne.

Dans la première de ces notes (²), je propose, pour le Caradocien, l'échelle stratigraphique suivante :

SAMBRE ET MEUSE	BRABANT	GRANDE-BRETAGNE
	IV. CARADOCIEN	
	2. *Caradocien supérieur* (Non encore observé en Belgique)	
	1. *Caradocien inférieur*	
c/ Horizon du Roux, à *Encrinurus*	c/ Horizon de Fauquez, à *Pleurog. linearis*	c/ Zone à *Pleurog. linearis*
b/ Horizon de Fosse, à *Trelaspis seticornis*	b/ Horizon de Gembloux, à *Trelaspis seticornis*	b/ Zone à *Dicranog. Clingani*
a/ Horizon d'Oxhe, à *Cryptolithus concentricus*	a/ (Non observé)	a/ Zone à *Climacog. Wilsoni*

Dans une note, présentée à la Société belge de Géologie, en 1928, mais parue seulement en 1930 (³), je confirme cette succession, sans y rien modifier.

L'acquisition récente, par le Musée royal d'Histoire naturelle, de la seconde collection réunie par feu le professeur C. Malaise, a mis à ma disposition des éléments des faunes siluriennes de Belgique, qui me permettent d'apporter une nouvelle contribution à l'étude de ces formations, en établissant une importante mise au point de l'échelle stratigraphique d'une partie du Silurien de notre pays.

(¹) *Remarques sur l'Ordovicien de la Belgique* (*Bull. Soc. belge de Géol.*, **36** [1926]). — *Remarques sur le Gotlandien de la Belgique* (*Ibidem*, **36** [1926-1927]).
(²) *Loco citato*, pp. 71, 77 et 84.
(³) *L'échelle stratigraphique des terrains primaires de la Belgique* (*Bull. Soc. belge de Géol.*, **38** [1928, 1930]).

Dans mes travaux précités, me basant sur les rares éléments connus de la faune des schistes d'Oxhe, considérés comme Llandéliens par C. Malaise, je rangeais ces couches à la base du Caradocien, dans un horizon correspondant à la zone à *Climacograptus Wilsoni*. Grâce au nouveau matériel que j'ai pu examiner, j'ai reconnu, notamment, à côté de *Cryptolithus concentricus* (Eaton), la présence de *Cryptolithus gibbifrons* (Mac Coy) et l'association de ces deux espèces m'amène à rajeunir les couches d'Oxhe, en les considérant comme pouvant être contemporaines, soit de la zone à *Dicranograptus Clingani*, soit plutôt, de la base de la zone à *Pleurograptus linearis*.

Les trois espèces de Graptolites signalées par Malaise dans les schistes de Gembloux : *Climacograptus caudatus*, *Cl. tubuliferus* et *Cl. styloideus*, m'avaient conduit à placer cet horizon dans la zone à *Dicranog. Clingani*, étant donné que la première de ces espèces est spéciale à cette zone, et que la deuxième s'y rencontre également, bien qu'elle ait vécu, de même que la troisième, dans la zone à *Pleurog. linearis*. Toutefois, ayant revu les très rares exemplaires, fort mal conservés, que Malaise avait attribués à *Cl. caudatus*, j'ai constaté que cette détermination ne peut être confirmée avec certitude. L'importance et la signification que je donnais à la présence de cette espèce dans la grauwacke de Gembloux n'ont plus de raisons d'être. Quant aux deux autres Graptolites, dont l'identification spécifique est plus certaine, leur association tend à faire ranger les couches qui les renferment dans la zone à *Pleurograptus linearis*. Si l'on considère d'autre part, que l'ensemble de la faune des schistes de Gembloux est, à bien peu de chose près, identique à la faune qui, en Grande-Bretagne, caractérise les couches qui se trouvent au sommet de la zone à *Pl. linearis*, on est tout naturellement conduit à placer l'horizon des schistes de Gembloux au même degré de l'échelle stratigraphique. Les schistes de Fosse, à *Tretaspis seticornis* et *Nicolella Actoniae* passent, par conséquent, au même rang.

L'assise de Le Roux, telle que la comprenait C. Malaise, est complexe, cet auteur ayant confondu, sous ce nom, au moins deux horizons différents. Les formations que l'on peut considérer comme les couches typiques du Roux, renferment une faune que l'ensemble de ses caractères range dans le Caradocien, ainsi que je l'ai démontré antérieurement. Mais jusqu'ici, me basant sur le matériel dont je disposais, je m'étais cru fondé à considérer ces couches comme pouvant correspondre au sommet du Caradocien inférieur, n'ayant encore trouvé, d'autre part, aucune donnée certaine qui décelât nettement la présence, en Belgique, du Caradocien supérieur, ou Ashgillian. Dans la faune des couches typiques du Roux, j'ai, depuis lors, trouvé, en assez grande abondance, un brachiopode, *Christiania tenuicincta* (Mac Coy), associé à de rares exemplaires de *Tretaspis seticornis* (Hisinger). L'existence de l'Ashgillian dans l'Ordovicien de Sambre et Meuse, est ainsi démontrée. Des matériaux actuellement à l'étude, m'incitent à croire que cette assise pourrait être également représentée dans l'Ordovicien du Brabant. Ce point sera élucidé plus tard.

Il semble vraisemblable que les schistes calcareux du Roux corres-

pondent à la zone inférieure de l'Ashgillian, ou zone à *Dicellograptus complanatus* ; mais aucune précision absolue n'étant encore possible, je me bornerai, pour l'instant, à placer cet horizon dans l'Ashgillian, d'une façon générale, sans plus.

Une partie des couches attribuées par Malaise à son assise du Roux, offre des caractères plus ou moins voisins de ceux des couches qui précèdent, du point de vue lithologique, mais tout différents, du point de vue faunique. Cet horizon paraît toutefois moins calcareux, et il est moins bien représenté que le précédent. Il en existe, notamment, un lambeau sur le territoire de Sart-Eustache. Ce niveau est caractérisé par la présence de *Phacops (Portlockia) elegans* (Sars et Brock), associé à *Atrypa marginalis* et *Meristina crassa.* L'association de ces trois formes à été signalée au sommet du Llandovérien inférieur de la Grande-Bretagne. *Portlockia elegans* est également connu à la base du Llandovérien supérieur, ou Tarannonien, dans un horizon correspondant à la zone à *Monograptus turriculatus*, mais ici, les deux brachiopodes précités n'existent plus. Ce qu'on peut dire, dans l'état actuel de la question, c'est que les schistes de Sart-Eustache appartiennent à un horizon du Llandovérien inférieur, et, vu leurs relations assez étroites avec les schistes calcareux du Roux, je les place provisoirement à la base du Llandovérien (zone à *Cephalogr. acuminatus*), à cause, d'autre part, de la présence d'une forme que son état de conservation ne me permet pas de déterminer avec certitude, mais que je crois pouvoir attribuer à *Plectorthis rustica* (Sowerby).

Ces données nouvelles me permettent de rectifier comme suit, la partie afférente de l'échelle stratigraphique du Silurien belge :

SAMBRE ET MEUSE	BRABANT	GRANDE-BRETAGNE
	II. *GOTLANDIEN*	
	1/ LLANDOVERIEN INFERIEUR	VALENTIAN
a/ Schistes de Sart-Eustache, à *Portlockia elegans*	a/ (Non observée)	a/ Zone à *Cephal. acuminatus ?*
	I. *ORDOVICIEN*	
	4 B/ CARADOCIEN SUPERIEUR	ASHGILLIAN
Schistes calcareux du Roux à *Christiania tenuicincta*	(?)	b/ Zone à *Dicellog. anceps* a/ Zone à *Dicellog. complanatus*
	4 A/ CARADOCIEN INFERIEUR	LOWER CARADOC
c2/ Schistes de Fosse, à *Nicolella Actoniæ*	c2/ Schistes de Gembloux, à *Nicolella Actoniæ*	c2/ Sommet de la zone à *Pl. linearis*
c1/ Schistes d'Oxhe, à *Cryptolithus gibbifrons*	c1/ Schistes de Fauquez, à *Pleur. linearis*	c1/ Base de la zone à *Pl. linearis*
b/ (Non observée)	b/ Non observée)	b/ Zone à *Dicr. Clingani*
a/ (Non observée)	a/ (Non observée)	a/ Zone à *Clim. Wilsoni*

NOTE SUR LE DÉVELOPPEMENT DES ÉTUDES CRISTALLOGRAPHIQUES ET MINÉRALOGIQUES EN BELGIQUE

par H. BUTTGENBACH,

Professeur à l'Université de Liége

Pendant longtemps, les études minéralogiques en Belgique n'ont pas été séparées des études géologiques ; mais les géologues qui, les premiers, décrivirent le sol et le sous-sol du pays, les d'Omalius d'Halloy, les André Dumont et d'autres ne manquèrent pas de signaler les espèces minérales qu'ils rencontraient et qui furent parfois l'objet d'études portant surtout sur leurs compositions chimiques.

La fondation de la Société géologique de Belgique par G. Dewalque, en 1874, et la publication dans les Annales de cette société d'observations diverses qui, comme l'avait voulu le fondateur, pouvaient même ne pas présenter d'intérêt scientifique immédiat mais n'étaient pas, de ce fait, perdues pour l'avenir, fit peu à peu détacher des études géologiques proprement dites tout ce qui concernait la cristallographie, la minéralogie et la pétrographie. On peut affirmer que c'est dans les annales de cette société que l'on trouvera le plus grand nombre de notes et de mémoires relatifs à l'étude des minéraux belges et beaucoup de ces travaux présentent une importance primordiale, quoique d'autres, et non des moindres, se trouvent dans les publications de l'Académie royale de Belgique, de la Société belge de Géologie et aussi dans les Annales du Musée de Tervueren et dans les Bulletins de la Société royale des Sciences de Liége.

*
* *

La description générale des minéraux du sol belge est résumée dans trois mémoires principaux : l'un de G. Cesàro concernant les minéraux sulfatés, phosphatés et carbonatés, l'autre de H. Buttgenbach concernant les composés binaires, le troisième de Ledoux relatif au quartz.

Il resterait donc encore à réunir dans un quatrième mémoire la description des silicates.

Mais, à côté de ces mémoires, combien d'autres n'ont-ils pas été publiés relativement à des espèces déterminées. Je citerai la description des calcites des environs de Liége, des calcites de Rhisnes, des calcites et autres minéraux du marbre noir de Denée; des calcites et barytines de Villers-en-Fagne; des calcites du calcaire carbonifère ; la hopéite, les grenats, l'axinite, l'épi-

dote ont aussi fait l'objet de descriptions spéciales ; des espèces, que l'on peut considérer comme caractéristiques de la Belgique, la dewalquite, la richellite, la delvauxine, la destinézite, la fraipontite ont également été décrites complètement.

On peut dire aujourd'hui que toutes les espèces minérales découvertes jusqu'à présent en Belgique ont été signalées ; que leurs cristaux ont été déterminés et que pour ceux d'entre eux qui se prêtaient à une étude plus complète, la composition chimique et la détermination des constantes optiques a été faite dans le détail.

La minéralogie de la Belgique est bien au point.



Nos connaissances relatives aux espèces minérales de la colonie se sont rapidement étendues depuis les dernières années ; cependant, déjà avant la guerre, et depuis 1904 des descriptions d'espèces trouvées en différentes régions avaient vu le jour et, dans un article publié en 1913 dans le Bulletin de la Société d'Etudes coloniales, j'avais montré les résultats acquis à cette date ; le nombre des espèces reconnues au Congo s'élevait alors à 37 ; en 1925, dans ma *Minéralogie du Congo belge*, je pouvais en décrire 118. Ce nombre s'est encore élevé depuis et, parmi toutes ces espèces, il en est de nombreuses qui n'avaient pas encore été signalées en d'autres pays et dont le plus grand nombre provient du gîte uranifère de Shinkolobwe (Katanga) et ont fait récemment l'objet d'un mémoire résumé de A. Schoep dans les Annales du Musée de Tervueren.

La minéralogie du Congo Belge est donc suivie avec grand soin et ce que l'on en connaît aujourd'hui laisse prévoir que la Colonie pourra encore donner d'autres richesses cristallographiques.



En général, dans toutes les espèces décrites et provenant du Congo ou de la Belgique, les auteurs se sont efforcés de décrire avant tout les combinaisons de formes présentées par les cristaux. Quelques espèces ont montré, de ce point de vue, une véritable richesse cristallographique ; je citerai la calcite de Rhisnes, la calcite de Villers-en-Fagne, les calcites de Blaton et de Denée, les fluorines, l'axinite de Quenast, les malachites du Katanga, la becquerélite du gîte uranifère, les diamants du Kasaï, etc.

Cependant les autres manifestations de la structure cristalline n'ont pas été négligées, telle, par exemple, que la détermination des indices de réfraction des espèces nouvelles de la colonie, non plus que l'étude chimique, souvent difficile, d'espèces telles que la richellite et la delvauxine ainsi que celle des minéraux uranifères.

L'étude des minéraux opaques et l'examen micrographique des minerais n'ont pas été négligés et ont fait l'objet de mémoires divers dont les conclusions sont intéressantes relativement à la genèse de leurs gisements.

* * *

L'étude des roches éruptives belges a fourni l'un des premiers travaux publiés dans notre pays peu après l'introduction des méthodes dues à l'emploi du microscope polarisant. Le travail publié sur ce sujet en 1874 par Renard et de la Vallée-Poussin était aussi complet qu'il pouvait l'être à cette époque. Il mériterait cependant d'être repris aujourd'hui de même que l'examen systématique des roches éruptives et métamorphiques de la colonie mériterait d'être entrepris du point de vue pétrographique pur ; celles-ci n'ont cependant pas été complètement délaissées et quelques travaux ont déjà paru qui donnent de premières indications sur les roches de quelques provinces ; il semble que l'on commence à apprécier l'intérêt que présentera cette étude, intérêt d'autant plus grand que la majorité des roches de la colonie est métamorphisée et que leur étude pétrographique seule pourra peut-être donner des indications précises relatives à leur origine.

Les travaux de Renard sur les dépôts recueillis lors de l'expédition mémorable du *Challenger* ont fait époque. Aujourd'hui, on étudie avec soin tous les minéraux microscopiques qui se rencontrent accidentellement dans les roches sédimentaires du pays, étude également très intéressante quant à l'origine des sédiments qui ont contribué à la formation de ces couches.



L'étude des roches et des minéraux de la Belgique et de sa colonie, ainsi d'ailleurs que d'autres pays, a donc fait l'objet de travaux remarquables émanant des laboratoires de nos quatre Universités. Dans ce rapide exposé, il ne m'a pas été possible de citer les noms — beaucoup trop nombreux — de tous ceux qui poursuivent encore les travaux de ce genre mais, pour ce qui concerne la cristallographie pure, géométrique et optique, je dois rappeler l'œuvre que G. Cesàro poursuit depuis cinquante ans et par laquelle il a illustré notre pays ; ses travaux sur les polyèdres, sur la théorie de Bravais, sur l'optique physique, sur les méthodes de détermination des feldspaths, sur la reproduction d'espèces naturelles, sur l'interprétation des analyses chimiques d'espèces diverses, et combien d'autres, obligeront à consulter les publications de nos Académies et de nos Sociétés scientifiques et ajoutent ainsi d'importants chapitres aux productions scientifiques descriptives des cristallographes et des minéralogistes belges.

LA QUESTION DES EAUX POTABLES EN BELGIQUE ET LE PROBLÈME DES EAUX ALIMENTAIRES QUE PEUVENT FOURNIR CERTAINS TYPES DE ROCHES CALCAIRES

par Ernest VAN DEN BROECK

Conservateur honoraire du Musée Royal d'Histoire Naturelle

Résumé

Tandis que la consommation en eau potable et en eau industrielle de la Belgique a tendance à augmenter rapidement par suite de l'accroissement de l'industrie et de l'extension des distributions d'eau, on constate une diminution notable des réserves tant artificielles que naturelles auxquelles ces eaux sont puisées.

Le rendement des nappes aquifères superficielles et profondes ainsi que de leurs exutoires : sources et puits, est devenu franchement déficitaire dans de nombreuses régions.

Si l'on tient compte de ce qu'il s'écoule un laps de temps considérable, dans les terrains filtrants, entre la chute d'une goutte de pluie et sa réapparition en un point de captage naturel ou artificiel : source, puits, galerie drainante, on voit que c'est non point le régime actuel des pluies qui doit être mis en cause, mais bien le régime antérieur.

Examinons donc l'évolution des chutes mensuelles pluviales, au cours des trois dernières années en prenant comme bases les stations pluviométriques suivantes judicieusement réparties dans la région rocheuse calcaire : Evrehailles, Crupet, Maredsous, Huy, Spontin et Ouffet. Toutes appartiennent à la région où s'alimentent notamment les importants captages qui fournissent leur eau aux faubourgs de l'agglomération bruxelloise et à diverses villes importantes du littoral et des Flandres.

Un examen rapide du tableau montre que si la pluviométrie a été normale pendant le premier semestre et abondante même pendant le troisième trimestre de l'année 1927, le dernier trimestre fournit par contre des minima déconcertants. C'est donc l'origine d'une première période déficitaire de durée peu prolongée, il est vrai, car pour l'année 1928 les chutes pluviales sont normales. Quant à l'année 1929, elle est remarquable, sauf pour les mois d'octobre et de décembre, par une pénurie pluviale tout à fait frappante, pénurie qui a persisté pendant le premier trimestre de 1930. Ce phénomène a été général et s'est fait ressentir tout aussi bien dans les régions sableuses du Brabant méridional, où sont situés les captages de la ville de Bruxelles.

Les origines de la pénurie d'eau des régions calcaires étant ainsi reconnues, nous rechercherons si, en prévision de nouveaux cas de pénurie pluviale prolongée, il serait possible de réagir plus ou moins efficacement en examinant si les calcaires ne pourraient pas, par voie d'exutoires artificiels (puits et captages) fournir une plus grande quantité d'eau potable que celle que l'on en retire actuellement.

Il existe, à tort, une suspicion générale contre les eaux issues des terrains calcaires. Cette suspicion est due au fait que la plupart des calcaires sont parcourus par un réseau de couloirs, de galeries et de cavernes dus à l'élargissement par dissolution, des diaclases et des cassures. L'eau circule librement dans ce réseau de conduits et réapparaît dans des résurgences sans avoir subi aucune filtration.

Cette règle ne doit pas être généralisée, car elle comporte de nombreuses exceptions, dont les deux principales, qui affectent une grande partie des terrains calcaires belges, sont les calcaires crinoïdiques et les calcaires dolomitiques.

J'ai démontré que les calcaires crinoïdiques, très développés dans le sous-étage tournaisien et dont le type est le « petit granit » sont constitués par un amoncellement de petits fragments cristallisés insolubles, d'encrines, spathisés, et préservés supplémentairement contre la dissolution des eaux souterraines par une gaine très mince de silice (1).

La dissolution de ces calcaires abandonne donc un véritable gravier crinoïdique qui emplit les fissures et constitue un filtre idéal. L'exemple fourni par M. l'Ingénieur Imbeaux, qui utilise les eaux du calcaire crinoïdique du jurassique bathonien pour l'alimentation de la ville de Nancy, confirme cette thèse.

Les calcaires dolomitiques laissent aussi un résidu de carbonate cristallin de magnésie, moins soluble, fournissant, comme le gravier crinoïdique, un dispositif filtrant, aussi efficace que celui des filtres sableux quartzeux des terrains meubles, tertiaires et autres.

L'utilisation en Belgique, depuis une trentaine d'années, des eaux potables des régions du Bocq, du Crupet et du Hoyoux sans qu'il en soit résulté d'inconvénient, donne tous les apaisements nécessaires en ce qui concerne les eaux des sources et des captages en terrain calcaire judicieusement choisi.

Lorsqu'on examine, d'après la carte géologique belge, la disposition très spéciale des calcaires de l'étage carboniférien du bassin de Dinant, englobant ses deux sous-étages tournaisien et viséen, on constate l'existence de multiples replis profonds, généralement isolés dans leurs parties longitudinales extérieures, reliés en groupes en leurs parties centrales et disposés, au nombre d'une dizaine, en synclinaux ou *fonds de bateaux*, reposant partout sur l'épais substratum, imperméable en grand, du complexe formé par les schistes de la Famenne et les psamites du Condroz. Or, la base de

(1) E. van den Broeck, E.-A. Martel, E. Rahir, *Les Cavernes et les Rivières souterraines de la Belgique*, Bruxelles, 1909, 2 vol. gr. in-8°, 1600 pages, 22 planches, 430 figures (voir spécialement chap. XIX, pp. 1433-1548).

ces synclinaux calcaires est précisément formée par des masses puissantes de calcaire tournaisien crinoïdique, si favorable, par le fait même de sa structure et de sa composition, à l'action filtrante générale et continue des eaux souterraines qui y circulent et s'y accumulent grâce au substratum précité. Plus haut, dans ces synclinaux, se trouvent englobés les *calcaires dolomitiques*, développés, du Viséen inférieur qui, ne l'oublions pas, contient le niveau dit de la *grande dolomie*. Ces calcaires supérieurs dolomitiques jouent un rôle important de filtrage efficace pour les eaux qui y circulent et s'y élaborent favorablement.

Il est hors de doute que les puits et les captages, judicieusement placés qui viseraient à saigner, en diverses régions et localités, cette vaste région de cent kilomètres de long et qui atteint, en son centre, vingt kilomètres de large, rencontreraient et permettraient de capter précieusement d'importantes réserves d'eau potable, dont les très faibles exutoires périphériques, sous forme de déversements sourciers, localisés aux points bas, ne peuvent donner aucune idée de l'importance de ces réserves souterraines.

Le but pratique de la présente communication est d'ailleurs de rappeler instamment aux intéressés qu'il existe, dans le sous-sol carboniférien du vaste bassin de Dinant, des réserves disponibles, très importantes, d'eau potable que ne peuvent fournir les sources, simples exutoires de trop-plein, mais que des travaux judicieux de captage pourront rendre accessibles.

Il ne faut pas perdre de vue qu'il existe également de vastes massifs de calcaire tournaisien dans le Hainaut occidental, sur le bord septentrional du bassin carboniférien de Namur.

En ces régions, où les dispositions en « fonds de bateaux » de ces calcaires sont remplacées par de simples ondulations et par des strates peu inclinées, peu fissurées, il existe, comme dans le bassin de Dinant, de vastes réserves d'eaux pouvant être utilisées.

Dans les régions d'affleurement ou d'accès facile des calcaires, comme à Soignies, les Ecaussinnes, Ath, Maffle, Péruwelz, etc. et très spécialement à Tournai, les calcaires crinoïdiques tournaisiens, partout très aquifères, ont été et sont encore l'objet de nombreuses et vastes exploitations industrielles, soit de carrières, souvent contrariées par l'afflux des eaux souterraines.

Dans la région de Tournai voisine de l'Escaut, il ne semble pas que des infiltrations latérales défavorables dues à ce fleuve, puissent compromettre par mélange, la qualité de ces eaux fournies par le sous-sol.

Il importe de considérer que, pour l'alimentation, tant en eaux potables qu'en eaux industrielles des plaines de la Flandre, le calcaire tournaisien crinoïdique du bassin de *Namur* offre, à proximité bien plus grande que celui du bassin de Dinant, d'importantes ressources aquifères disponibles, mais dont l'étude détaillée préalable s'impose tout d'abord.

EXPLICATION DU DIAGRAMME

Le diagramme ci-joint, malgré ses mentions détaillées, nécessite, pour être appelé à jouer un rôle vraiment utile, quelques explications complémentaires.

Dans sa partie supérieure de gauche, il fournit, en quatre colonnes, les données relatives aux trois types de calcaires qui, considérés au point de vue de leur production en eau potable ou non, s'imposent à l'attention. Ces trois types sont :

A. — Les calcaires purs ou à éléments solubles, roches au sein desquelles les fossiles, d'ailleurs variés et très divers, mais en proportion volumétrique variable et parfois minime, ne constituent dans la masse qu'une très faible proportion, insuffisante, en tout cas, pour constituer des *éléments de filtrage* dans des cavités d'ailleurs sans cesse en voie d'agrandissement et fournissant aux eaux un cours *rapide*.

B. — Les calcaires détritiques impurs, c'est-à-dire d'origine organique (crinoïdique, très spécialement) dans lesquels la masse est surtout formée, au sein d'une minime gangue soluble, de *résidus crinoïdiques cristallisés, spathisés et insolubles*, devenus par le fait même du phénomène dissolvant, désagrégés et meubles ; c'est-à-dire aptes à colmater, au fur et à mesure de leur formation, les fentes et fissures. Celles-ci, pour cette cause, ne peuvent se vider de leur filtre naturel, dont la production s'accroît corrélativement au progrès de la dissolution de la minime gangue calcaire, *seule soluble*. Dans ces fentes et fissures, toujours étroites et partout colmatées, le cheminement des eaux est forcément contrarié et *lent*.

C. — Les calcaires dolomitisés, altérés par dissolution du carbonate de chaux et laissant un *résidu cristallisé magnésien* qui, soit en surface, soit autour des fentes, fissures et menues cavités de la roche, constituent un *résidu meuble et insoluble* ; résidu jouant, à la perfection, dans des cheminements d'eau généralement étroits, le rôle d'un filtre absolument analogue à celui du sable quartzeux des dépôts meubles.

*
* *

Les parties supérieure et moyenne de la région droite du diagramme montrent, à *gauche*, les régions d'absorption, ou d'amont, des eaux pluviales et de ruissellement ; à *droite*, le terminus d'aval, en région basse de la circulation souterraine, c'est-à-dire la sortie des trop-pleins, sous forme soit de *sources*, soit de résurgences.

Ici s'impose une distinction *capitale*, que fournissent les deux figures superposées. Le *tracé supérieur* montre qu'au sein des calcaires purs *A*, éminemment et partout solubles (dont les types, spécialement dévoniens, sont représentés par nos calcaires *frasniens, givetiens et couviniens)* il se produit, par disparition de la gangue soluble prédominante, de *grandes cavités, des galeries et des grottes*, le tout d'agrandissement continu et général ; ce qui favorise une *circulation développée et rapide des eaux souterraines, sans colmatage ni filtrage possible*. Même les eaux pluviales pouvant, initialement, être filtrées à la surface du sol par suite d'affleurement des dépôts post-primaires meubles et localisés, doivent forcément, lorsqu'elles arrivent au sein du massif calcaire, se mélanger, tant à l'aval qu'à l'amont, aux eaux troubles et non filtrées qui s'engouffrent, en régime temporaire ou continu, dans les *aiguigeois* ou *bétoires*, indiqués par *A.A.A.* sur le dessin.

En aucun cas, il n'en peut résulter d'eaux potables et les sorties d'eau des régions basses constituent donc de *fausses sources ou résurgences*, inutilisables pour l'alimentation.

Le *tracé sous-jacent* (ou médian du diagramme) englobe le cas des calcaires des types *B* et *C ;* il montre, outre *l'absence* de grandes cavités à circulation d'eau rapide, la *généralité du colmatage naturel* fourni, non seulement par la mise en liberté d'énormes masses de résidus insolubles, mais encore par l'impossibilité d'agrandissement,

sans corrélation de colmatage, des vides, fentes et fissures, généralement de dimensions minimes, de la roche. Enfin, ce tracé montre aussi combien les cheminements étroits et localisés des eaux souterraines, retardés par le colmatage et le filtrage général, constituent les facteurs d'un *filtrage parfait et général* dans toute la masse rocheuse. Aussi sont-ce de véritables *sources* d'eau pure et bien filtrée, qui sortent des points bas de celle-ci.

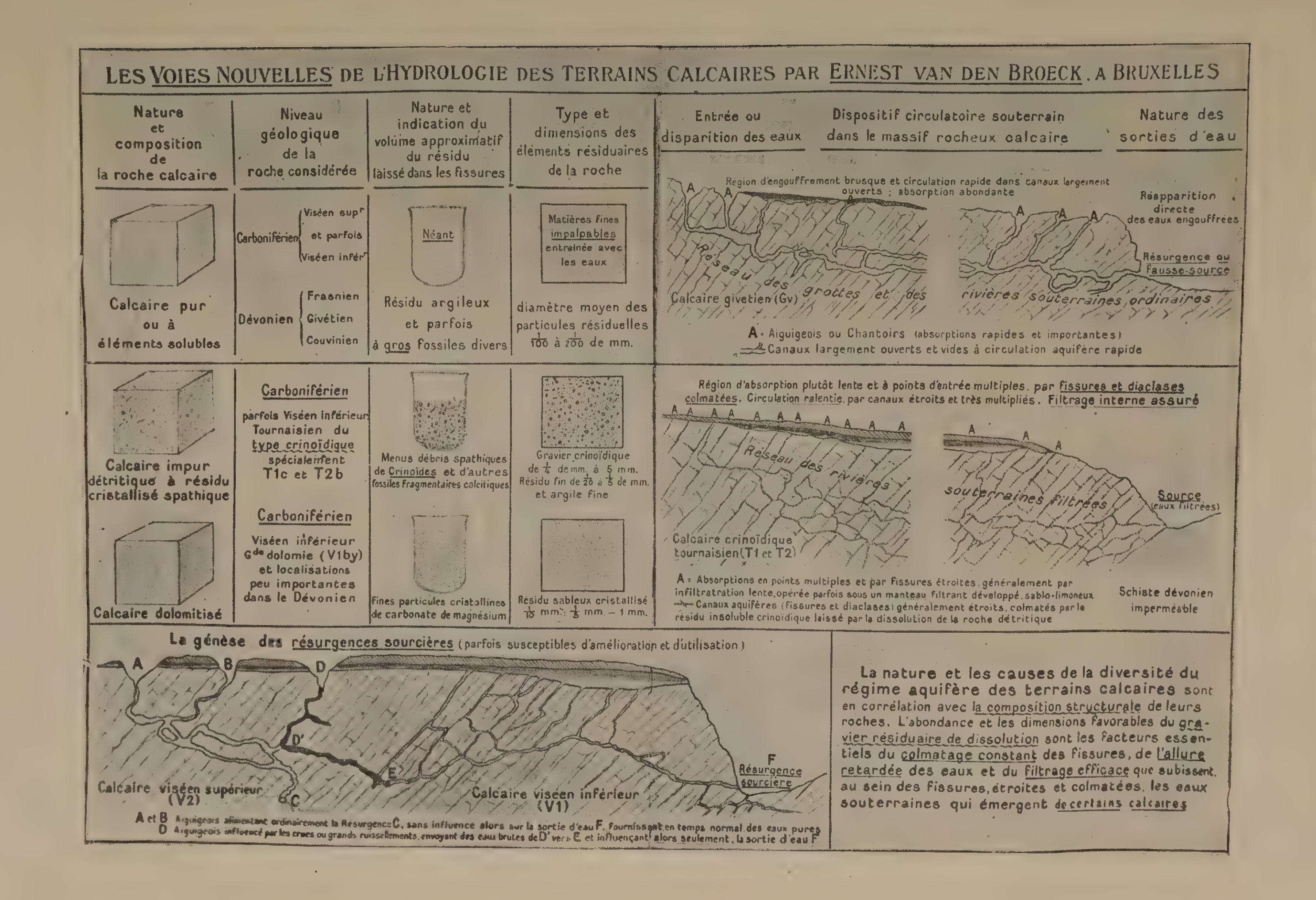
*
* *

Le tracé inférieur du diagramme (*Genèse des résurgences sourcières*) met en jeu la circulation et l'élaboration des eaux dans un massif complexe, comprenant, *à gauche*, des calcaires (V2) du type *A* ; à *droite* des calcaires (V1) du type *C*, tous deux d'âge viséen. Dans la région gauche de ce calcaire *A soluble*, on note un réseau circulatoire développé et largement ouvert. Les eaux, tant pluviales qu'engouffrées par les aiguigeois A. B. C., trouvent, sans aucune épuration ni filtrage, leur exutoire dans la région de point bas et d'avant plan *C*. Les eaux louches, qui se déversent par cette *résurgence* sont, en temps normal, sans aucune influence sur la qualité des eaux filtrées émergeant au point bas sourcier *F*.

Mais *D* figure un aiguigeois de fonctionnement *temporaire* (crues, grandes pluies ou orages) et dont l'apport passager souterrain (figuré par un tracé foncé) ne peut manquer *d'influencer* alors temporairement le réseau aquifère et le déversement sourcier *F* du calcaire V1. Certes, *l'action filtrante* du réseau circulatoire du massif V1 tend à restreindre cette influence temporaire des canalisations *D D' E* ; mais la crainte d'apports temporairement moins bien filtrés n'en subsistera pas moins pour influencer défavorablement la source *F* devenue, par ce fait, ce que l'on peut appeler une *résurgence sourcière.*

Il est possible, dans des cas pareils, de restituer à de telles sorties d'eau *F* de qualité variable, les conditions *normales* et *favorables* qui, d'une résurgence, en referont une source. C'est par un travail soigneux *d'occlusion complète*, par bétonnage, par exemple, des *aiguigeois* à fonctionnement temporaire du type *D* ; ce qui évitera au réseau d'eaux, pures et filtrées, originaire du massif V1 l'intrusion d'eaux *louches* provenant d'un calcaire moins favorable à l'épuration des eaux. Bien entendu, une surveillance *compétente, attentive et continue* visera, surtout, en périodes critiques, à ce que de nouveaux points d'engouffrement du type D ne puissent éventuellement (en périodes pluviales, de crise ou d'orages) s'ouvrir fortuitement et affecter le réseau circulatoire souterrain.

Nota. — Ce diagramme, quoique *absolument inédit*, date toutefois de l'époque d'émission de ma thèse de la potabilité des eaux de certains calcaires, soit d'une vingtaine d'années. Son titre : Les voies *nouvelles* serait utilement remplacé par : Les voies *modernes*. Dans la figure médiane de droite, qui figure le réseau circulatoire filtrant du calcaire crinoïdique tournaisien, l'expression : *Rivières souterraines filtrées*, serait, vu le volume d'eau qu'évoque le mot : *Rivière*, avantageusement remplacé par l'expression : *Réseau circulatoire filtrant.*


LES VOIES NOUVELLES DE L'HYDROLOGIE DES TERRAINS CALCAIRES PAR ERNEST VAN DEN BROECK, A BRUXELLES
Nature et composition de la roche calcaire
Niveau géologique de la roche considérée
Nature et indication du volume approximatif du résidu laissé dans les fissures
Type et dimensions des éléments résiduaires de la roche
Entrée ou disparition des eaux
Dispositif circulatoire souterrain dans le massif rocheux calcaire
Nature des sorties d'eau
Calcaire pur ou à éléments solubles
Carbonifèrien Viséen supr et parfois Viséen infér
Dévonien Frasnien Givétien Couvinien
Néant
Résidu argileux et parfois à gros fossiles divers
Matières fines impalpables entrainée avec les eaux
diamètre moyen des particules résiduelles 1/100 à 1/200 de mm.
Région d'engouffrement brusque et circulation rapide dans canaux largement ouverts ; absorption abondante
Réapparition directe des eaux engouffrées
Résurgence ou Fausse-source
Calcaire givetien (Gv)
Réseau des grottes et des rivières souterraines ordinaires
A · Aiguigeois ou Chantoirs (absorptions rapides et importantes)
Canaux largement ouverts et vides à circulation aquifère rapide
Calcaire impur détritique à résidu cristallisé spathique
Carboniférien
parfois Viséen inférieur Tournaisien du type crinoïdique spécialement T1c et T2b
Menus débris spathiques de Crinoïdes et d'autres fossiles fragmentaires calcitiques
Gravier crinoïdique de 1/4 de mm. à 5 mm. Résidu fin de 1/20 à 1/5 de mm. et argile fine
Région d'absorption plutôt lente et à points d'entrée multiples, par fissures et diaclases colmatées. Circulation ralentie, par canaux étroits et très multipliés. Filtrage interne assuré
Réseau des rivières souterraines filtrées
Source (eaux filtrées)
Calcaire crinoïdique tournaisien (T1 et T2)
Calcaire dolomitisé
Carboniférien
Viséen inférieur Gde dolomie (V1by) et localisations peu importantes dans le Dévonien
Fines particules cristallines de carbonate de magnésium
Residu sableux cristallisé 1/10 mm. 1/5 mm. – 1 mm.
A : Absorptions en points multiples et par fissures étroites, généralement par infiltratration lente, opérée parfois sous un manteau filtrant développé, sablo-limoneux
Canaux aquifères (fissures et diaclases) généralement étroits, colmatés par le résidu insoluble crinoïdique laissé par la dissolution de la roche détritique
Schiste dévonien imperméable
La génèse des résurgences sourcières (parfois susceptibles d'amélioration et d'utilisation)
Calcaire viséen supérieur (V2)
Calcaire viséen inférieur (V1)
F Résurgence sourcière
A et B Aiguigeois alimentant ordinairement la Résurgence C, sans influence alors sur la sortie d'eau F, fournissant en temps normal des eaux pures
D Aiguigeois influencé par les crues ou grands ruissellements, envoyant des eaux brutes de D' vers E et influençant alors seulement, la sortie d'eau F
La nature et les causes de la diversité du régime aquifère des terrains calcaires sont en corrélation avec la composition structurale de leurs roches. L'abondance et les dimensions favorables du gravier résiduaire de dissolution sont les facteurs essentiels du colmatage constant des fissures, de l'allure retardée des eaux et du filtrage efficace que subissent, au sein des fissures, étroites et colmatées, les eaux souterraines qui émergent de certains calcaires

UNE COUPE À TRAVERS LE PLÉISTOCÈNE ET L'HOLOCÈNE DE LA VALLÉE DE L'ESCAUT À ANTOING

par G. MORTELMANS

Introduction

Fin 1929 et début de 1930, il me fut donné d'étudier une très intéressante coupe dans les terrains pléistocènes et holocènes qui s'étagent sur la rive droite de l'Escaut à la sortie d'Antoing.

La Société Générale des Ciments Portland de l'Escaut (Cimescaut) avait fait construire deux grands silos à ciment à une cinquantaine de mètres de l'Escaut. Mais à la suite d'un fléchissement dans les pieux qui soutenaient la masse, il fallut creuser sous le bord des silos une série de puits destinés à être remplis de béton armé pour arrêter l'affaissement.

Ces puits sont descendus jusqu'au calcaire, traversant ainsi toute une série de couches de terrains, dont voici, du sommet à la base, la coupe générale :

Coupe générale

1° Remblais.

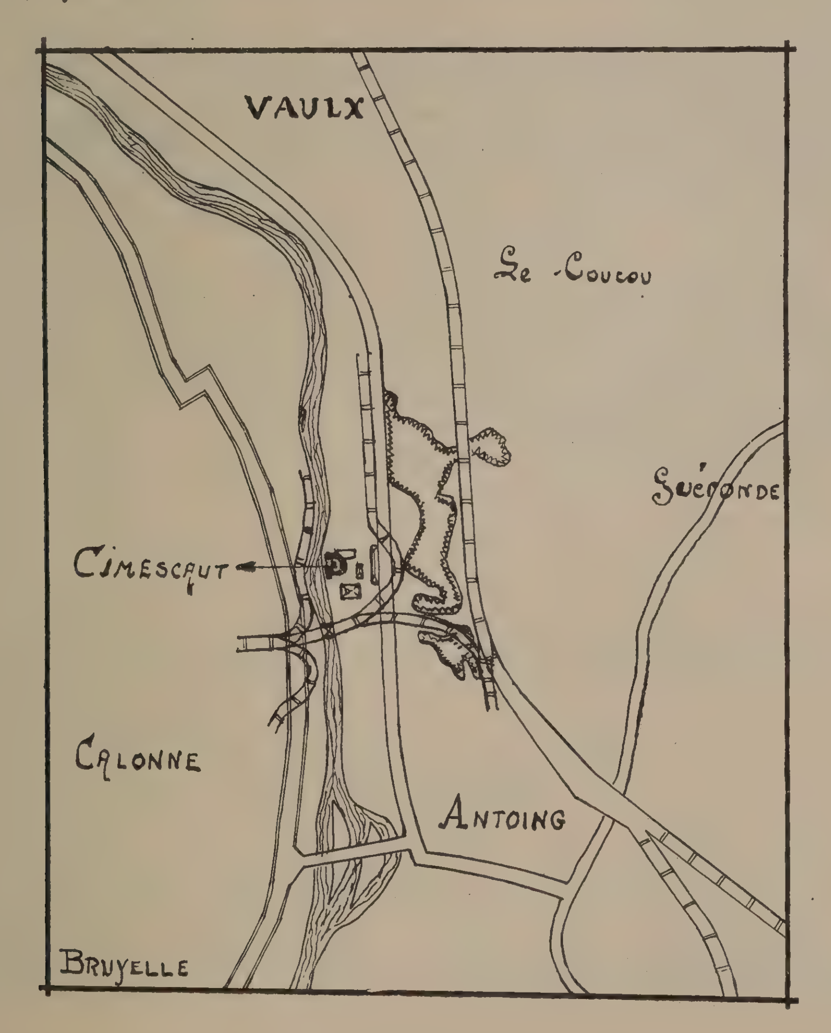
2° Alluvions grises, panachées de noir et de roux, cohérentes, plastiques, et se polissant dans la coupure. Vers le tiers supérieur existe un lit noirâtre, présentant les mêmes caractères que l'ensemble. Le dépôt des alluvions n'a pris fin que depuis peu de temps par suite du remblayement du marais que les vieux du pays ont encore connu.

3° Tourbe. Ensuite vient une couche de tourbe qui se subdivise très nettement en trois parties. Le sommet est compact et sectile ; la partie moyenne bien stratifiée, fournit de nombreuses feuilles, des graines et des élytres de coléoptères. Enfin la base est compacte, remplie de branches et de souches.

4° La tourbe est suivie de nouvelles alluvions fort semblables au 2°. Elles sont d'un gris verdâtre plus foncé et présentent au sommet des traces de racines ; comme le 2°, elle présentent un lit plus foncé. Cette couche n'a fourni que quelques petits Helix, comme le 2° d'ailleurs.

5° Tuf calcaire, impur, granuleux, non cohérent, chargé de matières organiques, et de sable fin. Il est formé de trois sortes de lits à stratification entrecroisée. Les premiers, très foncés, avec des fragments de branches, des souches de saule et de coudrier, des noisettes, et des coquilles d'*Helix*. Les seconds presque purs, grisâtres, avec quelques Anodonte et de nombreuses *Unio* bivalves et en position de vie. Les troisièmes enfin

sont des lits impurs, gris brunâtre, très coquilliers, avec des parties cohérentes, tourbeuses et bien stratifiées ; ils présentent un mélange d'espèces terrestres et aquatiques, les unes surpassant les autres en nombre suivant les endroits : *Helix, Clausilia, Planorbis, Neritina, Physa, Lymnea, Unio, Cyclas, Pysidium.*



Cette couche ravine l'assise suivante 6°.

6° Tuf calcaire gris jaunâtre, granuleux, non cohérent et sans coquilles, on y trouve des concrétions analogues aux poupées des limons. Vers le milieu existe un lit de silex brisés unis par un ciment calcaro-ferrugineux et reposant sur un lit alluvionnaire noirâtre. Ce tuf a fourni des débris humains, ainsi que des ossements nombreux de *Bos Primigenius* et de *Cervus Elaphus.*

7° Le tuf repose sur un épais gravier de sable grossier associé à sa

partie supérieure à des silex Landéniens roulés et brisés, à sa partie inférieure à des cailloux de calcaire et des cherts.

On y a trouvé plusieurs blocs de brèche calcaire provenant probablement de la faille de Bruyelles qui n'est guère éloignée, ainsi qu'un gros bloc de quartzite blanc. Cette couche n'a absolument rien fourni en fait de débris organisés .

Ce gravier ravine fortement le calcaire sur lequel il repose (calcaire appartenant à la veine du Bois proprement dite).

L'orifice des puits se trouvait à 4 mètres au-dessus du niveau actuel de l'Escaut ; si l'on retranche les 2 m. 50 de remblais, le sommet des alluvions se trouve à 1 m. 50 au-dessus du fleuve.

Epaisseur des alluvions

Les colonnes A-B-C représentent les épaisseurs trouvées dans trois puits

	A	B	C	C
Remblais	2,50	2,50	2,50	2,50
Alluvions n° 2.	1,80	1,75	2,05	0.60 0,45 1,00
Tourbe	1,10	0,80	0,60	0,25 0,15 0,20
Alluvions n° 4	2,20	2,05	1.90	0,90 0,15 0,85
Tuf n° 5.	0,50	0,50	0,50	0,50
Tuf inférieur	2,70	2,70	2,65	1,20 0,03 0,12 1,30
Gravier	1,30	2,25	4,05	4,05
Calcaire à	11,10	12,55	15,75	15,75

La coupe passant par les puits A et C, permet de se rendre compte de l'allure générale des couches.

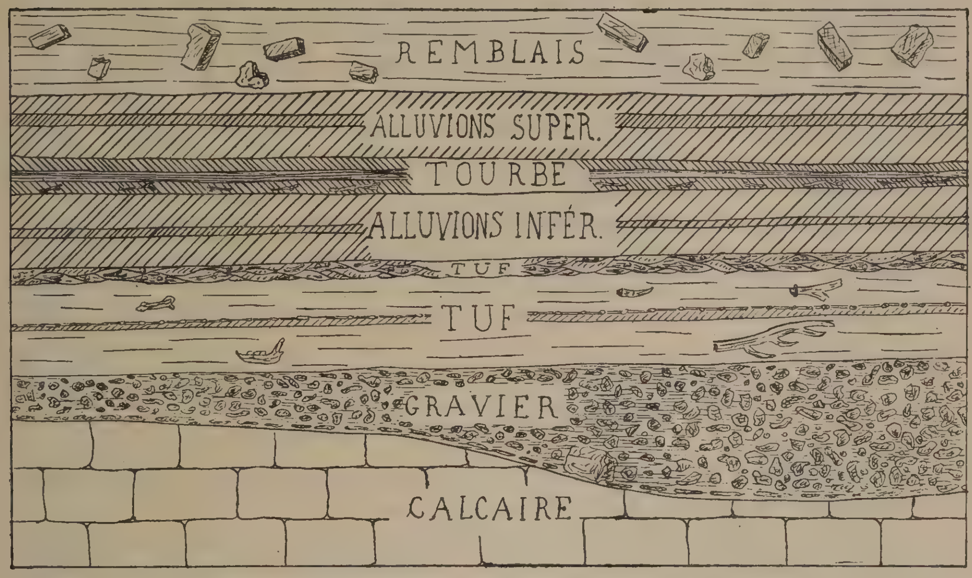
Etendue approximative des alluvions

Une série de travaux effectués aux environs de Cimescaut permettent de délimiter très approximativement l'étendue de ces alluvions.

Sur la même rive droite, à quelque 250 mètres en amont, s'élève la Centrale électrique qui fournit le courant à la région tournaisienne.

Des travaux poussés jusqu'au calcaire y auraient montré une coupe identique à celle de Cimescaut, ce qui accorderait aux alluvions un développement longitudinal minimum d'environ 250 mètres.

En admettant d'autre part qu'elles s'étendent de l'Escaut à la carrière la plus proche, où l'on ne trouve d'ailleurs que des limons, la largeur ne dépasserait pas 150 mètres.



Coupe générale suivant AC parallèlement à l'Escaut.

D'autres travaux effectués sur la rive gauche, à quelque 250 mètres en aval, à la Société Cimentière La Franco-Belge, auraient permis d'observer la coupe suivante :

1° Alluvions marécageuses ;
2° Sable argileux avec des petits cailloux de silex ;
3° Alluvions durcies fortement tourbeuses ;
4° Gravier de calcaire de faible épaisseur ;
5° Calcaire.

Les termes 2° et 3° auraient fourni de nombreux os de teinte foncée, fortement minéralisés.

L'épaisseur totale serait de 5 à 9 mètres à cause de l'inclinaison des couches vers l'Escaut. Les termes 1°, 2°, 3° auraient environ 2 mètres chacun.

Produits paléontologiques et archéologiques

Un autre intérêt de la coupe de Cimescaut, est qu'elle démontre l'existence en cet endroit, probablement à la fin du Pléistocène, d'un habitat humain.

Les hommes qui s'y étaient fixés, ont laissé des traces tangibles de leur présence en ce lieu. En effet, la partie inférieure du tuf a fourni, outre du charbon de bois, de nombreux os de *Bos Primigenius* et de *Cervus Ela-*

phus. Parmi ceux-ci, plusieurs os ont été fendus en long et présentent des traces de calcination ; un fragment de corne de cerf me paraît avoir servi de lissoir.

Mais les deux pièces les plus intéressantes sont, d'abord, une corne de cerf à laquelle il ne manque que la base ; celle-ci en a été détachée à l'aide du silex, perpendiculairement à l'axe de la corne.

Chez la seconde, qui est un petit andouiller, la manière d'opérer a été toute différente.

Celui qui y a travaillé a commencé par marquer d'un trait circulaire la partie où il allait scier, puis il a taillé en biseau tout autour, de façon à produire, après détachage du fragment, une sorte de tronc de cône.

Il a ensuite marqué d'un nouveau trait circulaire le fragment obtenu, comme s'il avait eu l'intention de le scier à nouveau

Cette pièce est remarquable par son bon état de conservation et sa forte minéralisation.

Produits paléontologiques humains

Mais l'homme ne s'est pas contenté de laisser dans le tuf des témoins de ses travaux, il y a laissé de ses propres restes.

Un puits, dont j'ai soigneusement noté l'emplacement, m'a fourni, associés à un fragment de côte et à une molaire de bovidé, un radius complet, un fragment de cubitus et un fragment d'omoplate, le tout d'un enfant qui s'était probablement noyé en cet endroit.

Les travaux ne permettant pas de faire des galeries, il n'a pas été possible de recueillir plus d'ossements, mais il est probable qu'il y en a encore aux abords de ce puits.

Conclusions

L'étude de cette coupe permet de faire plusieurs constatations :

Tout d'abord, qu'aux temps où s'est déposé le gravier de base, l'Escaut, plus large qu'à présent, avait un cours torrentueux et ravinait profondément les assises calcaires sur lesquelles il coulait.

Le tuf qui s'est déposé par la suite, probablement vers la fin de l'époque Pléistocène, permet de penser qu'alors, le fleuve, rétréci, avait atteint à peu de choses près, son régime actuel, et qu'il existait en cet endroit, parallèlement à l'Escaut, un étang dans lequel débouchaient des sources d'eau calcaire, sources qui ont déposé l'épaisse couche de tuf que l'on sait.

Au bord de cette nappe d'eau vivait une peuplade dont la nourriture principale était le *Bos Primigenius* et le *Cervus Elaphus*.

On sait que ces animaux dénotent, le premier, un régime de prairies, le second un régime de forêts.

Il est à remarquer à ce propos, qu'en nombre d'endroits de la vallée de l'Escaut dans le Tournaisis, on peut encore observer actuellement une situation analogue.

Les bords du fleuve se présentent avec des rives basses et marécageuses, se relevant ensuite en collines dont les flancs sont couverts de labours et de pâturages et dont les sommets sont couronnés par des bois.

Après le dépôt de la partie inférieure du tuf, les sources paraissent s'être emblavées, pour ne plus couler que par intermittence, ce qui a permis la formation de lits à stratification entrecroisée.

Plus tard, ces sources se sont complètement taries, et dans l'étang se sont déposées des alluvions qui l'ont peu à peu transformé en un marécage peu profond où ont pu s'établir des tourbières.

Enfin des crues d'âge récent sont venues faire cesser le dépôt de la tourbe, et ont permis celui d'alluvions marécageuses qui n'ont cessé de se déposer, il y a relativement peu de temps, que par le remblayement du marais.

HISTORIQUE DES LEVÉS GÉOLOGIQUES DE LA BELGIQUE

par Armand RENIER.

Si la Belgique est l'un des pays dont le sol est le mieux connu, c'est surtout parce que les levés topographiques et géologiques en ont été poursuivis et développés avec zèle et constance au cours du siècle écoulé.

Déjà en 1830, grâce à la clairvoyance de l'Académie royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, un recensement systématique des données d'ordre géologique se trouvait organisé, depuis 1820, par la mise successive au concours de la description des diverses provinces. Celles du Hainaut, par Drapiez, de la province de Namur par Cauchy, du Grand-Duché de Luxembourg par Steininger et par Engelspach-Larivière avaient paru en 1823, 1825 et 1828 ; celles de la province de Liége par Dumont, d'une part par Davreux, d'autre part, venaient d'être couronnées.

Toutes avaient apporté des précisions intéressantes aux études que, sous l'impulsion de ses maîtres parisiens, J.-B. d'Omalius d'Halloy avait entreprises vers 1807, publiées dès 1808, et synthétisées en 1822 dans son *Essai d'une carte géologique des Pays-Bas, de la France et de quelques contrées voisines* à l'échelle du 4.000.000^e environ.

Aucun des auteurs plus anciens, tels R. de Limbourg, J.-A. de Luc, M. Monnet, aucun des contemporains, tels Bouësnel durant la période française, Van Panhuys et Van Breda durant la période hollandaise, n'atteignit jamais au niveau où s'éleva, dès ses débuts, J.-B. d'Omalius d'Halloy et que fixa définitivement la publication en 1828 de son *Mémoire pour servir à la description géologique des Pays-Bas, de la France et de quelques contrées voisines.* C'est à bon droit qu'on voit en lui « le créateur de la géologie belge ».

Par suite des remaniements qu'entraîna le changement de régime, les mémoires de Dumont et de Davreux ne furent publiés qu'en 1832 et 1833. La continuation des concours eut encore pour heureux résultat le couronnement, en 1836, d'un mémoire sur la constitution géognostique de la province de Brabant dû à Galeotti. Mais ce fut le dernier du genre.

Les concours académiques avaient en effet révélé l'existence en la personne du jeune André-Hubert Dumont d'un géologue du plus grand mérite. On ne s'étonne point de le voir, dès 1834, faire part à l'Académie royale des Sciences et Belles-Lettres de son désir d'entreprendre le levé de l'ensemble du territoire national. Satisfaction lui fut donnée en ce qui concerne les provinces de Liége, de Hainaut, de Namur et de Luxembourg par un arrêté royal en date du 31 mai 1836. « Considérant que l'utilité des

cartes géologiques, tant pour l'avancement des sciences que pour la prospérité de l'industrie, ne peut plus aujourd'hui être révoquée en doute, et qu'il convient que la carte géologique de la Belgique soit exécutée dans le plus bref délai possible, avec les mêmes soins et dans le même esprit que les meilleurs ouvrages du même genre publiés dans les contrées voisines », il était décidé qu'une carte géologique de la Belgique serait construite aux frais du Gouvernement sous les auspices de l'Académie. On avait espéré que la carte des provinces de Brabant, d'Anvers, des Flandres et de Limbourg serait exécutée par Galeotti ; ce savant ayant quitté le pays, Dumont se trouva chargé, par arrêté en date du 25 septembre 1837, de l'entièreté du levé. En même temps, le terme de trois ans qui lui avait été imparti pour l'achèvement de sa tâche par l'arrêté de 1836, se trouvait prorogé d'un an ! En fait, ce ne fut qu'en 1848, après avoir interrompu pendant six années la présentation des rapports annuels qui lui avaient été imposés, que Dumont put annoncer l'achèvement prochain de sa mission et exalter le mérite d'une carte qui ne devait être déposée qu'en 1850 et publiée en 1853 à l'échelle du 160.000^e^. Dès 1849, paraissait toutefois la « *carte géologique de la Belgique et des provinces voisines* » à l'échelle du 800.000^e^ et, en 1855, un arrêté royal autorisait la publication d'une carte géologique du sous-sol de la Belgique où, à la même échelle du 160.000^e^ qui était celle de la carte originale, serait représentée l'extension des formations situées « au-dessous du limon hesbayen et du sable campinien », tout comme cela avait déjà été le cas pour la carte au 800.000^e^. Dumont avait, d'autre part, entrepris la publication du texte explicatif de sa carte sous la forme de mémoires, de plus en plus volumineux, consacrés aux terrains triasiques et jurassiques de la province de Luxembourg (1843), puis aux terrains ardennais (1847) et rhénan (1848) de l'Ardenne, du Rhin, du Brabant et du Condroz, c'est-à-dire aux formations rapportées présentement au Cambrien, au Silurien et au Dévonien inférieur.

Tout en se consacrant à la préparation d'une carte géologique de l'Europe, Dumont rêvait d'ailleurs et de la rédaction d'une statistique minéralogique et géologique générale où serait précisé le gisement de toutes les matières utiles du royaume, et d'une statistique minéralogique et géologique particulière à chaque commune qui aurait été accompagnée d'une carte à l'échelle du 20.000^e^. La « *carte géologique de Spa, Theux et Pepinster* » publiée en 1855, constitua comme un spécimen de semblabe carte. D'autres projets non moins vastes, mais ceux-là relatifs à son enseignement à l'Université de Liége, préoccupaient encore André-Hubert Dumont, lorsque la mort le frappa brusquement le 28 février 1857, à l'âge de 48 ans.

La disparition inopinée de celui qui, vingt ans durant, avait seul assumé la tâche du levé géologique de la Belgique, fut suivie d'un long temps d'arrêt des travaux systématiques de cartographie géologique.

Cependant, en 1861, l'Administration des Mines créait dans son sein un Service spécial de la Carte générale des mines avec, pour objectif, un levé détaillé des bassins houillers. Le résultat de ces efforts fut la publication à l'échelle du 20.000^e^ de trois cartes ou coupes horizontales accompagnées

de coupes verticales en travers et de tableaux de synonymie des couches de houille. Chacune de ces cartes embrasse la partie réellement active à l'époque des grandes régions minières : Liége (1880), Charleroi (1883), Mons (1889).

Les difficultés rencontrées furent énormes. On en juge aisément d'après l'échelle adoptée pour l'établissement des minutes, — elle ne fut pas moindre que le 5.000e — et surtout quand on apprend que la confrontation des plans d'exploitations fit constater entre eux d'importantes discordances de raccord et d'orientation.

La première des tâches fut donc finalement la création d'un canevas topographique par rattachement de tous les puits de mines à la triangulation et au nivellement général du royaume [1]. Vint ensuite un redressement général des plans, enfin l'instauration de règles uniformes pour la meilleure exécution des levés dans l'avenir. Passant aux études géologiques, on s'appliqua à définir au mieux les synonymies, c'est-à-dire la constitution stratigraphique des diverses régions, et à préciser les principaux accidents tectoniques. L'étude des modes de représentation fit aussi l'objet de longues études, ainsi qu'en témoignèrent, dès 1867, les spécimens présentés à l'exposition universelle de Paris.

Après publication des cartes, le Service spécial fut dissous et la mise à jour des coupes verticales, établies de 100 en 100 mètres, parallèlement au méridien de Bruxelles, fut confiée aux divers arrondissements miniers, chacun en ce qui concerne les plans d'exploitation à l'échelle du 1.000e dont il a le dépôt, et dont les exploitants assurent annuellement la mise au courant.

L'un des anciens collaborateurs du Service spécial, J. Smeysters publia à diverses reprises, en 1897, en 1900, enfin en 1905 des mises au point de plus en plus étendues des tracés du bassin de Charleroi, en y englobant finalement la Basse-Sambre et la partie orientale du district du Centre M. O. Ledouble a été chargé, par une brève remise en activité du Service spécial, de dresser, à l'occasion de l'exposition internationale organisée à Liége en 1905, une nouvelle carte de ce bassin. La publication en a été faite à l'échelle du 40.000e pour la coupe horizontale et du 20.000e pour les coupes verticales. Elle est accompagnée de tableaux de synonymie. Tel a été durant près de quarante-cinq ans le principal développement de la Carte des Mines sur les bases que J. Van Scheerpenzeel-Thim lui avait données dès 1861.

Cette œuvre se trouvait déjà en plein développement lorsque, en 1875, l'attention fut appelée par G. Dewalque sur les questions relatives à l'exécution d'une carte géologique à grande échelle et, en tout premier lieu, sur la nécessité d'entreprendre sans retard ce vaste travail. La carte de Dumont était épuisée depuis plus de dix ans. La science avait progressé. On allait disposer en lieu et place des cartes de Ferraris et de Van der

[1] Lors de la mise en exploitation du bassin de la Campine, il fut procédé à une triangulation spéciale de manière à définir un canevas d'ensemble cohérent pour ce nouveau bassin minier.

Maelen d'une carte topographique basée sur une triangulation nouvelle et dont les planchettes seraient dressées à l'échelle du 20.000e. En conséquence l'Académie pria le Gouvernement de faire exécuter le plus tôt possible une carte géologique à grande échelle répondant aux besoins actuels tant de la science que de l'industrie.

Une commission d'études est constituée peu après ; mais près de quinze années s'écouleront avant que ne soit trouvée une solution qui prévaille définitivement. Vives étaient, en effet, les oppositions de doctrines et de méthodes ou, si on préfère, de tendances et de procédés.

En suite du vote de crédits par la législature, des arrêtés royaux datés des 16 juillet et 19 octobre 1878 décrétèrent, conformément à l'avis de la commission d'études, la publication d'une carte géologique détaillée à l'échelle du 20.000e d'après les planchettes de la carte topographique du Dépôt de la guerre. Le travail devait être exécuté sous le contrôle d'une commission. Le service du levé était rattaché au Musée royal d'histoire naturelle et la publication cartographique devait se faire par le Dépôt de la guerre. La commission de contrôle pouvait toutefois confier des travaux à tout géologue qualifié qui lui en ferait la demande. Cette organisation fut ensuite quelque peu modifiée, par arrêté royal du 12 juillet 1882, dans le sens d'un renforcement des prérogatives de la direction du Musée d'histoire naturelle. En 1885, le tout se trouva remis en question : les crédits annuels, votés l'année précédente à une voix de majorité, étaient cette fois refusés par la Chambre. Cette tentative a cependant eu pour résultats des publications au sujet de 42 des 430 planchettes, soit de la part du Musée d'histoire naturelle : 13 planchettes carte et texte, 4 planchettes carte seule et 4 planchettes texte seul, et de la part des autres collaborateurs : 20 planchettes carte et texte et une planchette texte seul.

Le 2 septembre 1885, une nouvelle commission était nommée en vue d'élaborer et de présenter au Gouvernement un projet de réorganisation de la carte géologique sur les bases indiquées par la législature. Une première mesure prise par un arrêté royal daté du 26 août 1888 fut le rattachement du Service de la carte géologique à la Direction générale des Mines. Un arrêté du 31 décembre 1889 confia à une commission spéciale le levé à l'échelle du 20.000e au moins et à l'Institut cartographique militaire la publication à l'échelle du 40.000e. Le travail devait être terminé en treize années. Commencé en 1890, il ne fut effectivement achevé qu'en 1913 par le dépôt quelque peu différé des deux dernières planchettes ou, si l'on préfère, en 1919 par la publication de la dernière des 226 feuilles. A bien peu de chose près, si l'on tient compte des difficultés de la mise en activité de toute organisation, l'œuvre a donc été sensiblement accomplie dans les délais prescrits. Ce résultat fut dû pour une bonne part à l'activité du secrétaire de la commission, Michel Mourlon.

Mais Mourlon voulut plus et, peut-on dire, mieux. Grâce à son entregent, il obtint du Gouvernement que le pays fût, après tant d'autres, doté d'un Service géologique. L'arrêté royal du 16 décembre 1896 instituant un Service géologique à l'Administration centrale des Mines lui assigne pour

mission plus spéciale le développement de l'étude des questions relatives au gisement des matières extractives et à l'hydrologie. En fait, ce que visait Michel Mourlon, c'était la constitution d'un organisme de documentation, c'était cette statistique minéralogique et géologique générale et particulière dont avait rêvé André Dumont, c'était le recensement systématique des forages préconisé dès 1847 par notre non moins illustre compatriote, Adolphe Quetelet, l'un des fondateurs de la science statistique. D'abord installé très modestement dans des locaux annexes du ministère de l'industrie et du travail, rue Latérale (aujourd'hui rue Lambermont), puis transféré, en 1906, au Palais du Cinquantenaire dans quelques salles qui parurent de prime abord bien vastes, pour se faire rapidement trop étroites, le Service géologique concentra tous les documents du secrétariat de la Commission géologique et se mit en devoir de grouper méthodiquement sur la base des 420 planchettes de la Carte topographique à l'échelle du 20.000^{e} toutes les données connues sur la constitution du sol. A vrai dire, Mourlon n'innova point. Lorsque vers 1876, il avait été question d'entreprendre le levé d'une carte détaillée, l'Institut cartographique militaire avait été chargé, non seulement d'imprimer à nouveau les cartes du sol et du sous-sol à l'échelle du 160.000^{e} et la carte au 800.000^{e} déjà publiée par André-Hubert Dumont, mais encore de reproduire les notes de voyage laissées par ce précurseur et qui jusqu'alors étaient restées inédites. Ces notes étaient accompagnées de planchettes topographiques à l'échelle du 20.000^{e} portant indication des points d'observation. C'était là un premier fonds pour les archives de la carte géologique dont l'un des objectifs doit être de faciliter les révisions ultérieures. Les faits consignés dans les cartes levées de 1878 à 1885 venaient s'y ajouter tout naturellement. Puis, au jour le jour, s'y adjoignaient tous les documents parvenus à la connaissance du Service.

C'est bien ici l'endroit de faire remarquer qu'à côté des levés généraux et systématiques exécutés par ordre du Gouvernement, les seuls presque dont il ait été question jusqu'ici dans cette notice, il convient de signaler les innombrables études partielles, les unes exécutées à la suggestion d'organismes officiels, ainsi en réponse à des questions de concours posées soit par l'Académie royale, soit par les Universités, soit encore par des sociétés privées telle la Société des Sciences, Arts et Belles-Lettres du Hainaut, les autres entreprises par l'initiative privée grâce à l'émulation entre toutes les bonnes volontés qui créent et entretiennent de nombreux groupements libres ; parmi ceux-ci il convient de signaler, dès 1830, année de sa fondation, la Société géologique de France, puis l'éphémère Société paléontologique de Belgique (1858-1865), ensuite, à partir de 1874, la Société géologique de Belgique et dans une mesure plus modeste, la Société scientifique de Bruxelles, enfin, après 1887, la Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie. La somme de documents accumulés dans les publications de ces divers groupements est considérable. Les archives de la Carte géologique se sont de leur seul fait enrichies dans des proportions remarquables.

Mourlon ne manqua d'ailleurs pas de compléter cette documentation par la constitution et l'organisation d'une bibliothèque dotée d'un triple catalogue ordonné par noms d'auteur, par matières et par régions. Cette bibliothèque est tenue par certains pour la mieux agencée parmi les dépôts spécialisés de notre pays. Convaincu de l'utilité de cette œuvre, Mourlon n'hésita pas à faire don de sa bibliothèque personnelle afin de constituer le premier fonds de ce nouveau dépôt.

Après achèvement de la publication de la Carte géologique à l'échelle du 40.000ᵉ dressée par la Commission géologique instituée en 1889, un arrêté royal daté du 30 mai 1919 a décidé que « la révision de la carte géologique et la publication de ses éditions successives sont confiées au Service géologique ».

Ainsi se trouve reconnu implicitement le caractère de permanence du levé géologique. Cette conception se justifie du fait que certaines données sont de caractère particulièrement périssable. Il convient de saisir durant le seul temps où elles sont accessibles les coupes fournies non seulement par les forages, mais par des fouilles de toute sorte. Le Service a pour mission de les recueillir dans la plus large mesure possible. De la sorte, la révision de nos connaissances sur la constitution du sol national va se poursuivant constamment. Consignés dans les archives de la carte, les faits nouveaux permettent d'ailleurs d'apporter en tout temps aux tracés publiés les corrections nécessaires, ou encore de pousser ces tracés dans un détail plus grand que celui que comporte une carte générale. Au bref, la permanence du levé constitue un stade progressif, à la condition qu'elle se combine avec la publication d'éditions successives de la carte où compte soit tenu des progrès.

L'arrêté royal du 30 mai 1919 a d'ailleurs institué auprès de l'Administration centrale des Mines une Commission consultative, le Conseil géologique, qui a, notamment, pour mission de donner avis sur toute question d'ordre scientifique relative à la révision de la carte géologique. L'activité de cet organisme s'est traduite par l'élaboration et la publication d'une nouvelle « légende générale de la carte géologique détaillée de la Belgique » et encore par celle d'une annexe où sont récapitulées « les ressources en matières utiles du sol belge ». Ainsi se trouvent terminés les prodromes d'une nouvelle édition, dont il reste à fixer certains détails d'exécution.

Depuis 1914, le crédit inscrit pour le Service géologique au budget du ministère de l'industrie, du travail et de la prévoyance sociale mentionne expressément la révision de la carte générale des mines parmi les attributions du Service géologique. Les principales manifestations de l'activité déployée dans ce sens se voient à l'exposition de Liége sous forme, d'une part, d'un tableau d'ensemble du raccord stratigraphique dressé à l'échelle du 1000ᵉ des coupes des sondages, puits et galeries du bassin houiller de la Campine et, d'autre part, d'un tableau synoptique des échelles stratigraphiques (à l'échelle du 2500ᵉ) des bassins houillers de la Belgique et des régions voisines. Ainsi sont concrétisés sous forme synthétique les résultats obtenus au cours de quinze années de travaux de paléontologie stratigraphique.

NOTE SUR LE MÉTAMORPHISME DE CONTACT DANS LES TERRAINS ANCIENS DU CONGO BELGE

par F. CORIN

Géologue au Service géologique de Belgique

Le complexe de terrains anciens qui, au point de vue géologique, constitue le substratum du bassin du Congo, et affleure largement sur son pourtour, porte les traces superposées de nombreuses vicissitudes. En l'absence de restes d'organismes, la subdivision en unités stratigraphiques est basée sur le seul caractère lithologique, et, en particulier, sur le degré d'évolution des roches. Toute tentative de classification doit donc, logiquement, résulter d'une étude approfondie des transformations intimes des masses minérales.

On sait que le passage d'une roche à l'état de schiste cristallin est la conséquence, soit de son évolution en profondeur, accompagnée ou non de dislocations tectoniques, soit de l'influence d'un magma qui fait intrusion dans son voisinage. La seule apparence de cristallinité n'est nullement caractéristique du *degré de métamorphisme*, et cette notion elle-même est dépourvue de sens si on ne la précise pas par l'indication de l'*agent du métamorphisme*, et par la détermination de la *nature originelle de la roche*. Seul le métamorphisme de contact sera envisagé dans la présente note.

Le métamorphisme de contact est qualitativement indépendant de la nature chimique de la roche qui en est la cause. Il se manifeste sous divers aspects qui dépendent, en particulier, des conditions de différenciation du magma, lesquelles dépendent, à leur tour, de la profondeur d'intrusion et des conditions tectoniques. La genèse des roches éruptives est, en effet, le résultat de la cristallisation fractionnée d'un mélange complexe où voisinent les substances réfractaires et les éléments volatils. La physico-chimie moderne est familiarisée avec l'étude de tels mélanges : lors du refroidissement de la masse, les éléments solides précipités en premier lieu baignent dans un résidu fluide de plus en plus abondant. L'état de surchauffe confère à celui-ci un pouvoir d'expansion considérable, et une grande activité chimique. On conçoit que la pression extérieure et la température aient une sérieuse influence sur le cours d'un processus régi par la séparation de matières volatiles, et soient ainsi, pour le cours de la différenciation, des facteurs déterminants. Pression et température dépendent, avant tout, de la région de l'écorce terrestre où le magma évolue.

Par l'étude d'une importante collection de matériaux provenant du

socle ancien du Congo, et recueillis dans diverses régions, tant du Katanga que du Nord et de l'Est de la colonie, j'ai pu reconnaître que le métamorphisme de contact s'y présente sous des aspects très variés, dont voici un aperçu sommaire :

I. — *Métamorphisme avec injection et assimilation*

Le métamorphisme sous ces deux formes, a joué un rôle de tout premier plan dans la genèse des terrains cristallophylliens du Nord et du Nord-Est du Congo. Ces terrains renferment tout un complexe de roches gneissiques et d'amphibolites, les unes et les autres injectées lit par lit par le granite, et recoupées par des schizolithes filoniennes. Les schistes cristallins catamétamorphiques ont la structure massive des produits de l'activité magmatique. Dans les granites fortement contaminés par l'assimilation de sédiments, des associations minérales nouvelles apparaissent, auxquelles prennent part, entre autres, le disthène gainé de ses produits d'altération phylliteux, la sillimanite, des amphiboles, et diverses symplectites.

Les phénomènes de cet ordre ne sont pas confinés au Nord de la colonie. J'ai observé des gneiss d'injection au Katanga, entre Funda-Biabo et Bukama, et j'ai étudié des échantillons de granite gneissique du Benguella qui étaient, à tout le moins, fortement contaminés par des substances étrangères.

La grande extension des gneiss d'injection et les phénomènes d'assimilation sont des indices :

1° Que les roches envahies par le granite étaient déjà métamorphisées avant l'intrusion ;

2° Que l'intrusion s'est faite à très grande profondeur, dans une région où les roches étaient chaudes ;

3° Que l'intrusion était accompagnée de mouvements tectoniques profonds.

II. — *Action pneumatolytique et hydrothermale des magmas*

Certains granites à étain du Katanga sont auréolés de formations d'origine pneumatolytique ou hydrothermale. Cette auréole est des plus variable, tant par son extension que par sa constitution : tantôt subordonnée à l'action thermale, tantôt voilant celle-ci, elle peut être localisée au contact des filons d'étain, sous forme de greisens, de poches de kaolin, ou d'autres altérations d'étendue limitée. La prédominance de l'une ou l'autre de ces manières d'être paraît être le fait de la nature de la roche influencée, de son degré d'évolution au moment de l'intrusion, et de la profondeur de cette dernière.

Le granite hololeucocrate de Manono, avec son cortège de pegmatites à grands éléments et de filons grenus de quartz, mica et cassitérite, est auréolé de micaschistes avec ou sans porphyroblastes de biotite, de tour-

maline ou de cassitérite, et de micaschistes à deux micas, avec staurotide et chlorite, imprégnés de tourmaline ; les tourmalinites sont abondantes. Les formations hydrothermales sont bien représentées, tandis que les roches injectées sont l'exception : j'en ai rencontré un seul cas, dans une enclave d'amphibolite. Le caractère de la minéralisation, la paragénèse des micaschistes, et l'absence, dans ceux-ci, de témoins d'une évolution régressive sont autant d'indices d'un processus accompli à une profondeur modérée. La mylonitisation locale met en évidence des déformations tectoniques superficielles postérieures à la mise en place du granite.

A Busanga, il n'existe de granite qu'à quelque distance du gisement d'étain, et cette roche est traversée par des veines minces de tourmaline. Le gisement se compose d'un réseau de filons de quartz, d'importances très inégales, aux parois desquels sont concentrés, localement, des amas de cassitérite, de mica ou de feldspath. Les roches encaissantes sont des schistes plus ou moins feutrés de tourmaline aciculaire ou des grès blancs, poreux, imprégnés de ce même minéral dans les fissures et au voisinage de celles-ci. Pour y être encore prépondérantes, les actions pneumatolytiques soulignent une minéralisation qui s'est faite à une profondeur moins grande à Busanga qu'à Manono.

Au Nord du lac Kisale, non loin de Mwanza, les gisements d'étain se localisent dans des granites gneissiques. « Greisens » et « Zwitters » encadrent des filons dont le caractère hydrothermal est très accusé et qui renferment, soit des amas de cassitérite isolés dans le quartz ou concentrés le long des parois, soit des agglomérations de mica et de tourmaline. Celle-ci remplit des fissures capillaires dans les grès poreux qu'elle imprègne légèrement. L'inclusion de ses cristaux dans la cassitérite est fréquente, alors qu'à Manono, les deux minéraux n'étaient pas normalement associés. La roche mère de l'étain n'apparaît pas, et son auréole de contact pneumatolytique n'a pas pu se développer aussi librement dans le granite gneissique de Mwanza que dans les roches poreuses de Manono et de Busanga.

Le granite gneissique a joué un rôle passif vis-à-vis de la minéralisation, mais il ne s'en suit nullement qu'on doive voir en celui-là un massif ancien, en celle-ci l'indice d'une venue magmatique plus récente : granite et filons peuvent être deux produits d'une même différenciation : l'un, l'enveloppe externe consolidée en premier lieu, l'autre le dépôt laissé par les solutions résiduelles.

La région de Mikengele, près de Funda-Biabo ne porte pas de traces de métamorphisme de contact. Les filons de quartz contiennent à la fois de la cassitérite et des sulfures et n'ont pas d'action bien sensible sur la roche qu'ils traversent. Le granite est trop éloigné pour que son influence soit considérable.

III. — *Action thermique*

A Muika, près de Kiambi, des filons grenus de quartz, mica et cassitérite, sont accompagnés de pegmatites et d'aplites. Des cornéennes à biotite et des schistes à chiastolite affleurent aux environs, témoignant

d'action thermique prédominante du magma. Il n'y a pas d'indices d'un métamorphisme de ces roches antérieurement à l'intrusion.

La mise en place des granites à étain est un phénomène hypabyssal, L'observation montre que des roches de toutes natures ont subi cette intrusion, et se trouvaient, à ce moment, à des degrés d'évolution divers, tout en gardant l'empreinte des zones supérieures du métamorphisme; c'est-à-dire de l'épizone et de la mésozone définies par Grubenmann.

Résumé et conclusions

Dans le socle ancien du Congo belge, les intrusions magmatiques se sont produites à des profondeurs variées. Elles ont envahi des sédiments diversement évolués, et leur action a été très polymorphe. Des différences et les analogies qu'on pourrait ainsi déceler ne peuvent suffire pour établir une chronologie de ces accidents.

Lorsque le métamorphisme par injection acquiert une grande importance, la distinction entre le granite et la roche injectée, et la détermination de la nature originelle de cette dernière sont rendues difficiles sur des territoires étendus. Dans les zones d'imprégnation pneumatolytique, du type de Manono et de Busanga, l'intrusion du magma qui s'est faite à profondeur modérée dans des sédiments peu modifiés, n'en a pas moins complètement défiguré ceux-ci. Dans ces cas extrêmes de métamorphisme de contact, toute tentative de raccord stratigraphique est donc aléatoire. En toute hypothèse, l'action des roches éruptives doit entrer en ligne de compte pour réduire d'autant l'importance du facies cristallophyllien des roches.

Une étude détaillée des manifestations du métamorphisme de contact permettra sans doute de fixer quelques grands traits de la tectonique du socle ancien du Congo belge. Elle aidera puissamment notre connaissance des gîtes métallifères, car la diversité des provinces minéralisées est due bien plus à la variété des conditions de différenciation d'un même type de magma, qu'à l'intrusion de masses originellement différentes, amenant avec elles un cortège de minéraux qui leur soient propres.

LES RELATIONS DU DÉVONIEN CONTINENTAL ET DU DÉVONIEN MARIN SUR LA BORDURE EUROPÉENNE DU CONTINENT NORD-ATLANTIQUE

par Maurice LERICHE

Professeur aux Universités de Bruxelles et de Lille

I. — Le continent Nord-atlantique et la Mésogée a l'époque dévonienne

Le Continent Nord-atlantique ou continent du « Vieux Grès rouge » est le vaste continent qui, à l'époque dévonienne, comprenait les terres que baignent aujourd'hui la partie septentrionale de l'Atlantique et une partie de l'océan Arctique. Il réunissait le Spitzberg, la Scandinavie, la Finlande, le Nord-Ouest de la Russie, la partie septentrionale des Etats baltes, la presque totalité des îles Britanniques (le Somersetshire, le Devonshire et les Cornouailles exceptés), le Groenland, le Nord-Est des Etats-Unis et la moitié orientale du Canada [1].

Au Sud de ce continent, s'étendait une large mer transversale, parallèle à l'Equateur, — la Mésogée, — qui recouvrait les provinces centrales et méridionales de l'Europe.

II. — Les caractères du facies continental du Dévonien : l'« Old Red Sandstone » (le « Vieux Grès rouge »)

Sur le continent Nord-atlantique, les formations dévoniennes se présentent sous un facies particulier, d'où sont exclus les fossiles marins (Polypiers, Brachiopodes, à l'exception de *Lingula*, Céphalopodes, Trilobites, etc.).

Ce facies est caractérisé par certains groupes de Poissons (Ostracophores, Antiarcha, Crossoptérygiens, certains genres d'Arthrodères), par des Gigantostracés et par des Végétaux (Psilophytales et Ptéridophytes).

Il est constitué par des roches (grès, grauwackes, schistes, argiles), dans la coloration desquelles domine souvent la teinte rouge amarante. Certains de ses bancs sont d'anciens « sols de végétation », c'est-à-dire qu'ils sont parcourus par des racines de végétaux qui ont vécu sur place. Enfin, des couches de houille s'intercalent parfois entre ces roches (île aux Ours).

Ces formations sont connues en Grande-Bretagne, depuis les origines

[1] Voir l'« Essai de carte paléogéographique de la Terre à l'époque Dévonienne » *in* E. Haug, *Traité de Géologie*, 725. Paris, 1908-1911.

de la Géologie, sous le nom d'« Old Red Sandstone » (Vieux Grès rouge) [2]. Le terme, qui a été étendu jadis à l'ensemble du Dévonien, marin et continental, implique aujourd'hui une idée de facies : il n'est plus employé que pour désigner les formations continentales du Dévonien, définies comme elles viennent de l'être.

III. — Les divisions de l'« Old Red Sandstone » (Vieux Grès rouge)

Deux faunes ichthyologiques bien distinctes se succèdent dans le Vieux Grès rouge. Elles caractérisent respectivement les deux grandes divisions admises, depuis longtemps, en Grande-Bretagne : le « Lower Old Red Sandstone » et l'« Upper Old Red Sandstone ».

La faune ichthyologique du Vieux Grès rouge inférieur est principalement composée d'Ostracophores : du genre *Pteraspis* et de nombreuses espèces du genre *Cephalaspis*. L'ordre des Arthrodères est principalement représenté par des Acanthaspidiens, en particulier par *Phlyctœnaspis*.

La faune ichthyologique du Vieux Grès rouge supérieur n'est pas moins variée. Elle compte, parmi ses éléments les plus caractéristiques, un Ostracophore (*Phyllolepis*), des Antiarcha (*Asterolepis* et surtout *Bothriolepis*) et des Crossoptérygiens (*Holoptychius* et *Glyptopomus*).

Deux flores différentes ont aussi été distinguées dans le Vieux Grès rouge [3]. L'une, la plus ancienne, n'est guère constituée que par des Psilophytales (*Psilophyton*, *Arthrostigma*, *Hostimella*). L'autre, plus riche et plus variée, est surtout composée de Ptéridophytes (*Archœopteris*, *Sphenophyllum*, *Archœocalamites*, *Bothrodendron*, *Lepidodendron*, etc.).

Ces deux flores caractérisent respectivement les deux divisions du Vieux Grès rouge distinguées par leur faune ichthyologique.

Le Vieux Grès rouge inférieur est ainsi caractérisé par la faune à *Pteraspis* et par la flore à *Psilophyton* ; le Vieux Grès rouge supérieur, par la faune à *Phyllolepis* et *Holoptychius*, et par la flore à *Archœopteris*.

IV. — La faune ichthyologique du Dévonien littoral et néritique

Les formations littorales et néritiques du Dévonien, le long de la bordure méridionale du continent Nord-atlantique, de la Russie aux Etats-Unis, renferment une faune ichthyologique dans laquelle dominent les Arthrodères (*Dinichthys*, *Heterosteus*, *Ptyctodus*, *Rhynchodus*) et les Dipneustes (*Dipterus* [4], *Palœdaphus*, *Ganorhynchus*) [5].

[2] « Old Red Sandstone » par opposition à « New Red Sandstone » (Nouveau Grès rouge), terme sous lequel on désigne, en Angleterre, des formations lithologiquement semblables, mais plus récentes (permiennes et triasiques).

[3] E.-A. Newell Arber, *Devonian Floras*, 8-10. Cambridge University Press, 1921.

[4] Le genre *Dipterus* compte un petit nombre de formes (*D. Valenciennesi* Sedgwick et Murchison, *D. macropterus* Traquair) qui paraissent avoir été exclusivement continentales. Il est probable que certaines espèces étaient euryhalines.

[5] Le genre *Ganorhynchus*, connu depuis longtemps aux Etats-Unis, a été signalé récemment dans le Frasnien du Boulonnais. Voir A.-P. Dutertre, *Découverte d'osse-*

Les Dipneustes et certains Arthrodères (*Ptyctodus*) possèdent une denture adaptée au régime conchyphage, et leurs restes se rencontrent le plus souvent dans des couches riches en Brachiopodes et en Encrines.

V. — L'enchevêtrement des facies continental et marin du Dévonien sur la bordure européenne du continent Nord-atlantique

Sur toute la bordure méridionale du continent Nord-atlantique, de la Russie aux Etats-Unis, les facies continental et marin du Dévonien se pénètrent et se coincent. Cet entrecroisement des facies est la conséquence d'un déplacement continuel des lignes de rivage, pendant la période dévonienne.

En aucun moment, la bordure du continent Nord-atlantique ne fut immobile. Les régressions et les transgressions s'y succèdent. Certaines ont une amplitude considérable.

La transgression la plus importante est celle qui, commencée dès la fin du Dévonien inférieur, se poursuit pendant tout le Dévonien moyen, pour s'achever à la fin du Frasnien. Cette transgression est générale sur la bordure méridionale du continent Nord-atlantique. Elle est suivie, partout, d'une régression, pendant le Famennien.

Dans les régions qui furent acquises au domaine marin, durant cette transgression, le Vieux Grès rouge inférieur et le Vieux Grès rouge supérieur, avec leur faune et leur flore respectives, sont ainsi nettement séparés par des formations littorales et néritiques, dont la faune ichthyologique se compose d'éléments (*Dinichthys*, *Heterosteus*, *Ptyctodus*, *Rhynchodus*, *Palædaphus*, *Ganorhynchus*) bien différents des Poissons du Vieux Grès rouge (voir chap. IV). On peut désigner cette faune littorale et néritique du Dévonien moyen et de la partie inférieure du Dévonien supérieur sous le nom de faune à *Ptyctodus*.

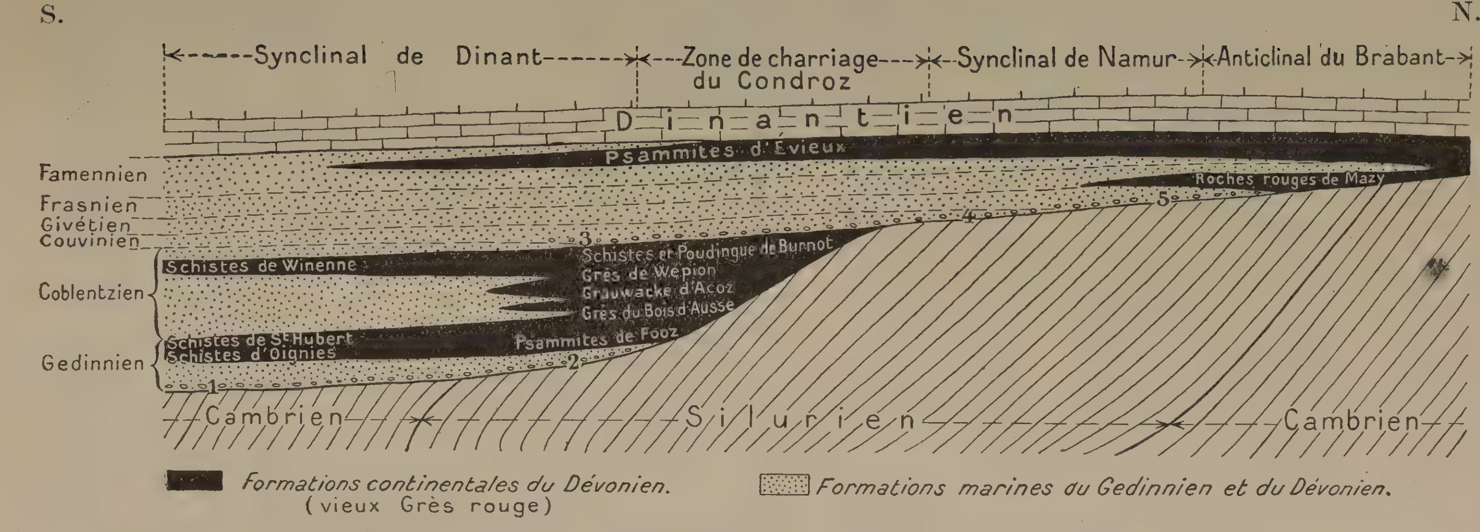
Ces faits sont particulièrement nets dans le massif primaire gallo-belge. Ils sont aussi évidents à l'Ouest de la Russie, de la Podolie aux Etats baltes. On peut les observer encore à l'extrémité Sud-Ouest de l'Angleterre (Somersetshire, Devonshire et Cornouailles).

Massif primaire gallo-belge. — Dans la partie de ce massif qui forme le bord Nord du synclinal de Dinant, le Dévonien inférieur se présente, en grande partie, sous le facies Vieux Grès rouge ([6]). Depuis l'époque (1903-1906) où, pour la première fois, j'ai mis en évidence l'existence du facies typique de l'« Old Red Sandstone » dans le Dévonien le plus inférieur du bord septentrional du synclinal de Dinant ([7]), — dans le Nord de la France

ments de poissons dans le Dévonien du Boulonnais (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, **183**, 1116 [1929]).

([6]) M. Leriche, *L'histoire géologique de l'Ardenne* (*Revue de l'Université de Bruxelles*, **16**, 377-379 [1910-1911]). — M. Leriche, *Sur la présence d'un* Pteraspis *dans le Coblentzien du massif de Dour. Les niveaux à Ostracophores de l'Ardenne et des régions limitrophes* (*Bulletin de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, **26**, *Procès-verbaux*, 51-54 [1912]).

([7]) *Note préliminaire sur une Faune d'Ostracodermes récemment découverte à*



COUPE THÉORIQUE SUD-NORD DU MASSIF PRIMAIRE GALLO-BELGE AVANT LE PLISSEMENT HERCYNIEN

Le Cambrien et le Silurien (à l'exception du Gedinnien inférieur, marin = Schistes de Mondrepuis) avaient été redressés par le plissement calédonien.

Les traits interrompus marquent les limites d'étages.

Les chiffres 1 à 5 désignent les cordons littoraux de la mer gedinnienne (1 et 2) et de la mer dévonienne aux temps couvinien et givétien (3 à 5) :

1 = Poudingue de Fépin et Arkose de Haybes.
2 = Poudingue d'Ombret et Arkose de Dave.
3 = Poudingue de Tailfer.
4 = Poudingue de Naninne.
5 = Poudingue d'Alvaux.

Dans le haut de la figure sont indiquées les parties de la coupe correspondant aux différentes unités tectoniques qu'engendrera le plissement hercynien.

et en Belgique, — les observations n'ont fait qu'apporter des confirmations nouvelles à cette thèse. La faune à *Pteraspis* s'est montrée remarquablement développée sur tout le bord Nord du synclinal de Dinant [8]. Des restes de Gigantostracés (*Pterygotus*) y ont été signalés [9]. La flore à *Psilophyton* y a été reconnue [10].

A deux reprises, pendant le Dévonien inférieur, une régression de la mer amena une extension, vers le Sud, du facies Vieux Grès rouge [11]. La première régression se produit au début même du Dévonien, et se traduit, au Sud du synclinal de Dinant, par le dépôt des assises d'Oignies et de Saint-Hubert (voir fig. p. ~~640~~). La seconde a lieu vers la fin du Coblentzien ; elle se manifeste, dans la même région, par les Schistes de Winenne.

Le Couvinien, le Givétien et le Frasnien, qui sont en grande partie néritiques, renferment la faune à *Ptyctodus* [avec, en plus de *Ptyctodus*, *Rhynchodus*, *Dinichthys*, *Heterosteus* [12], *Dipterus*, *Palœdaphus*, *Ganorhynchus*, etc.] [13].

La transgression du Dévonien moyen, momentanément interrompue, au début du Frasnien, par une légère régression, indiquée par les Roches rouges de Mazy, sur le bord Nord du synclinal de Namur, amène la mer aux environs de Londres, vers la fin du Frasnien. Les couches à *Spirifer Verneuili* (= *S. disjunctus*) et à *Rhynchonella (Hypothyridina) cuboides* rencontrées au forage de la brasserie Meux [14], à Londres, et au forage

Pernes (Pas-de-Calais) (*Annales de la Société géologique du Nord*, **32**, 190-191 [1903]). — *Contribution à l'étude des Poissons fossiles du Nord de la France et des Régions voisines*, Thèse de doctorat, 14-17 (1906) (*Mémoires de la Société géologique du Nord*, **5**).

(8) M. Leriche, *Les « Pteraspis » du Dévonien de la Belgique* (*Bull. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, **33** [1923], 143, 159, pl. III, IV [1924]). — Voir aussi : M. Leriche, *Note complémentaire sur le « Pteraspis » de Wihéries (P. dunensis F. Roemer)* (*Ibidem*, **34** [1924], 75-84, pl. II-IV [1925]). — *Deuxième note complémentaire sur le « Pteraspis » de Wihéries* (*Ibidem*, **35** [1925], 19-29, pl. I-IV [1926]).

(9) M. Leriche, *Sur la présence du genre « Pterygotus » dans le Taunusien (Coblentzien inférieur) du bord nord du synclinal de Dinant* (*Annales de la Société géologique de Belgique*, **48** [1924-1925], *Bulletin*, 130-133 [1925]).

(10) Paul Bertrand, *Note préliminaire sur les Psilophytons des grès de Matringhem* (*Ann. Soc. géol. du Nord*, **42** [1913], 157-163 [1913-1914]).

— Huberte Ledoux-Marcelle, *Sur les Flores du Dévonien de la Belgique* (*Bull. Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, **37** [1927], 20-28, pl. I, II [1927]).

(11) M. Leriche, *L'histoire géologique de l'Ardenne* (*Revue de l'Université de Bruxelles*, **16**, 377-379 ; fig. I, 378 [1911]). — M. Leriche, *Eléments de Géologie*, 90, fig. 19 (91), 1re édit. [1919] ; 98-100, fig. 44 (99), 2e édit. [1924].

(12) Ce genre, qui n'est pas rare dans le Dévonien de la Livonie, vient d'être signalé dans le Frasnien de Trélon (Nord). Voir J. W. Laverdière, *Description d'une plaque osseuse d'*Heterosteus *du Frasnien de Trélon* (*Ann. Soc. géol. du Nord*, **55**, 61, pl. IV [1930]).

(13) A vrai dire, le Couvinien et le Givétien de la Belgique n'ont encore livré que peu de restes de Poissons, en général indéterminables. Mais les genres *Ptyctodus*, *Rhynchodus*, *Dinichthys* et *Dipterus* ont été signalés dans le Dévonien moyen de l'Eifel.

(14) J. Prestwich, *On the Section of Messrs. Meux and Co's Artesian Well in the Tottenham-Court Road, with Notices of the Well at Crossness, and of another at Shoreham, Kent ; and on the probable Range of the Lower Greensand and Palæozoic Rocks under London* (*Quarterly Journal of the Geological Society of London*, **34**, 903-904 [1878]). — (La détermination des fossiles dévoniens cités par Prestwich est due à Etheridge.)

de Turnford ([15]) près Cheshunt, au Nord de Londres, marquent le terme de la transgression.

Après le dépôt de ces couches, commence la régression famennienne, et le facies Vieux Grès rouge s'étend de nouveau vers le Sud, caractérisé, cette fois, par la faune à *Holoptychius* et par la flore à *Archœopteris*. C'est à ce « Vieux Grès rouge supérieur » qu'appartiennent : 1° les couches rouges et vertes, à *Holoptychius* et *Bothriolepis*, atteintes par le forage de Southall ([16]), à l'Ouest de Londres ; 2° une partie importante du Famennien du synclinal de Namur ; 3° les Psammites d'Evieux ([17]), dans la partie septentrionale du synclinal de Dinant.

Cette régression était achevée avant la fin du Dévonien, car les Psammites d'Evieux sont couronnés par une formation néritique, les Macignos d'Ouffet, lesquels renferment encore la faune à *Dinichthys* et *Dipterus* du Dévonien.

Les Macignos d'Ouffet marquent le début d'une nouvelle transgression, qui va se poursuivre pendant le Dinantien, et dont l'amplitude va dépasser celle des transgressions dévoniennes.

Podolie, Ouest de la Russie, Etats baltes. — La Podolie est la région des affleurements primaires dans le pays qu'arrosent le Dniester et ses affluents de gauche. Elle s'étend en territoire russe et en territoire polonais.

Dans cette région, le Dévonien succède en concordance au Silurien. Il se présente, dans la partie occidentale de la Podolie polonaise, sous le facies typique du Vieux Grès rouge, tandis que, dans la région de l'Est et du Sud-Est, vers le Zbrucz et vers la Russie, il passe à des formations marines.

Le passage du Silurien au Dévonien, dans la partie occidentale de la Podolie polonaise, se fait exactement comme dans l'Artois ([18]) et comme sur la bordure orientale du Pays de Galles. En Podolie polonaise ([19]), des couches à *Cyathaspis Sturi* Alth succèdent à des couches à *Orthoceras podolicum*, qui représentent l'« Upper Ludlow » d'Angleterre. Or, *C. Sturi*

([15]) R. ETHERIDGE, *Anniversary Address of the President (Quart. Journ. Geol. Soc. of London*, **37** [1881], *Proceedings*, 234). — W. WHITAKER, *The Geology of London and of part of the Thames Valley (Memoirs of the Geological Survey of England and Wales*, **1**, 31-32 [1889]).

([16]) E. PROCTOR, *Notes on the Discovery of Fossiliferous Old Red Sandstone Rocks in a Boring at Southaal, near Ealing (Quart. Journ. Geol. Soc. of London*, **69**, 78-81, [1913]). — A. SMITH WOODWARD, *Note on the Fish-remains from the Upper Devonian (of Southall) (Ibidem*, 81-83, pl. X).

([17]) M. LOHEST, *Recherches sur les Poissons des Terrains paléozoïques de Belgique Poissons des Psammites du Condroz, Famennien supérieur (Ann. Soc. géol. de Belgique*, **15**,*Mémoires*, 168-196 (*passim*); 1888). — M. LERICHE, *Les Poissons famenniens de la Belgique (Mémoires* in-4° *de l'Académie royale de Belgique*, Classe des Sciences [à l'impression]).

([18]) M. LERICHE, *Contribution à l'étude des Poissons fossiles du Nord de la France et des régions voisines*, 14-21 [1906].

([19]) W. ZYCH, *Old-Red Podolski* (Old-Red de la Podolie), *Prace Polskiego Instytutu Geologicznego* (Travaux du Service géologique de Pologne), **2**, livr. I, 28-31, 61-63 [1927]).

est une forme si voisine de *C. Barroisi* Leriche, des « Passage Beds » de l'Artois, que l'on peut regarder les couches à *C. Sturi* de la Podolie et les couches à *C. Barroisi* de l'Artois comme étant à peu près contemporaines.

Aux couches à *C. Sturi* succède une formation riche en *Pteraspis :* sa partie inférieure renferme des formes de petite et de moyenne taille, rappelant *P. Crouchi* Lankester et *P. rostrata* L. Agassiz ; sa partie supérieure est caractérisée par des formes de grande taille (*P. Lerichei* Zych, mut. *major* Zych ([20]) ; *P. Lerichei*, mut. *longirostra* Zych et mut. *elongata* Zych, qui rappellent beaucoup *P. dunensis*, F. Roemer). Cette formation représente le Dévonien inférieur. Elle est surmontée, dans la partie occidentale de la Podolie polonaise, par des dolomies à *Amphipora ramosa*, qui sont les couches dévoniennes les plus récentes de la région et qui appartiennent peut-être déjà au Dévonien moyen.

Ces dolomies à *Amphipora ramosa* indiquent le début d'une invasion marine qui, pendant le Dévonien moyen et le Frasnien, va s'étendre, vers le Nord, sur l'Ouest de la Russie et sur les Etats baltes.

Les Grès baltiques supérieurs, qui succèdent aux couches marines du Frasnien et qui renferment la faune à *Holoptychius*, marquent, comme les Psammites d'Evieux, en Belgique, une régression de la mer vers le Sud et une extension du facies Vieux Grès rouge.

Sud-Ouest de l'Angleterre (Somersetshire, Devonshire, Cornouailles). — Le Sud-Ouest de l'Angleterre occupe, sur la bordure du continent Nord-atlantique, une situation comparable à celle du massif primaire gallo-belge. Ces deux régions sont liées, pendant le Dévonien, par une commune histoire. C'est aussi par une régression de la mer, vers le Sud, que s'ouvre la période dévonienne dans la région même du Devonshire. Dans le Dévonien du Nord du comté et de l'Ouest du Somersetshire, on peut reconnaître les trois principaux épisodes continentaux distingués dans le Dévonien de la région gallo-belge :

Le premier est marqué par les « Foreland Grits » ([21]), qui paraissent se prolonger, dans le Sud du Devonshire et dans les Cornouailles, par les « Darmouth Slates » à *Pteraspis* ([22]), *Cephalaspis*, *Phlyctœnaspis*. Les

([20]) C'est à cette forme que paraît appartenir le *Pteraspis* trouvé à Vimy (Pas-de-Calais) et rapporté à *P. Dewalquei* Ch. Fraipont (=*P. dunensis* F. Roemer) par MM. Ch. Barrois, P. Pruvost et G. Dubois. Voir : *Description de la faune siluro-dévonienne de Liévin*, 2e partie (*Mém. Soc. géol. du Nord*, **6**, (II), 165, 170 [1922]).

([21]) Pour la stratigraphie du Dévonien du Sud-Ouest de l'Angleterre, consulter J.-W. Evans, *Devonian : A. Sedimentary Rocks, in* J.-W. Evans et C.-J. Stubblefield, *Handbook of the Geology of Great Britain*, 128-141, 160-163 (Bibliographie); 168-169 (Tableau); Londres, 1929.

([22]) Le *Pteraspis cornubica* Mc Coy, qu'on rencontre dans les « Darmouth Slates », n'est connu que par des fragments de plaques, souvent écrasés, toujours insuffisants pour caractériser l'espèce. Ces fragments indiquent pourtant une forme de grande taille, comparable à *P. dunensis* F. Roemer.

Je remercie M. E. White, Conservateur au « British Museum » à Londres, qui, à ma demande, a bien voulu me communiquer les exemplaires de *P. cornubica* que possède cet Etablissement et qui proviennent de Polperro (Cornouailles).

« Foreland Grits » représentent sans doute les Psammites de Fooz et peut-être aussi les Grès du bois d'Ausse, du bord Nord du synclinal de Dinant ; les « Darmouth Slates », les Schistes d'Oignies et les Schistes de Saint-Hubert du bord Sud du même synclinal.

Le deuxième épisode continental est indiqué par les « Hangman Grits », qui représentent probablement les Schistes, Grès et Poudingue de Burnot du massif gallo-belge. En Angleterre, comme en Belgique, cet épisode paraît être moins franchement continental que le précédent et le suivant.

Le troisième épisode continental correspond aux « Pickwell Down Sandstones », qui ont livré des restes d'*Holoptychius*, de *Bothriolepis*, d' *Holonema*, etc. ([23]), et qui appartiennent au Famennien.

Comme dans le massif gallo-belge, une nouvelle transgression succède à ce troisième épisode continental, avant que ne s'achève la période dévonienne. C'est cette transgression qui va porter la mer dans le Sud de l'Ecosse, à la fin du Dinantien. Au moment où va commencer la période carboniférienne, la mer a déjà dépassé, vers le Nord, les limites qu'elle avait atteintes, pendant le Dévonien, dans ses divers mouvements de transgression. Elle a touché la rive septentrionale du Canal de Bristol, où elle dépose les couches à fossiles marins qui sont intercalées au sommet des « Skrinkle Sandstones », lesquels représentent le Vieux Grès rouge supérieur dans le Sud du comté de Pembroke. Ces couches à fossiles marins correspondent aux Macignos d'Ouffet du massif gallo-belge.

La comparaison du Dévonien de trois régions de la bordure européenne du continent Nord-atlantique, fort éloignées les unes des autres, montre le caractère de généralité des mouvements qui commandèrent, sur cette bordure, les régressions et les transgressions.

([23]) I. Rogers, *Fossil Fishes in the Devonian of North Devon* (*Geological Magazine*, déc. VI, **6**, 100-101 [1919]). — A. Smith Woodward, *Notes on the Fish remains from the Pickwell Down Sandstones* (*Ibidem*, déc. VI, **6**, 102-103).

LES POUDINGUES DÉVONIENS ET LES FACIES DU GIVETIEN SUR LE BORD NORD DU SYNCLINAL DE NAMUR

par E. ASSELBERGHS,

Professeur à l'Université de Louvain

Le Dévonien du bord nord du synclinal de Namur renferme deux niveaux de poudingue, l'un, d'âge frasnien, à la base de l'assise de Bossières, l'autre à la base du Givetien. Cette note a pour objet d'étudier la constitution des couches qui sont comprises entre ces deux poudingues.

Nous prendrons comme point de départ la vallée de l'Orneau, où ces couches sont le mieux exposées.

I. — *Vallée de l'Orneau*

L'étude des affleurements visibles dans les versants de la vallée de l'Orneau et les observations que nous avons pu faire de part et d'autre de la vallée lors de l'établissement de la conduite d'amenée de la Compagnie intercommunale bruxelloise des Eaux nous amènent à établir la succession suivante des couches envisagées.

Les schistes à *Spirifer Malaisi* de l'assise de Bossières ont comme base un banc de poudingue pisaire et avellanaire.

Ils reposent sur des roches rouges formées de schistes rouges à nodules calcaires qui renferment des bancs de calcaire gris, de calcaire argileux, de calcaire rosé grumeleux. Il y a aussi quelques schistes verts. Nous y avons découvert *Spirifer tenticulum* (abondant), *Camarotoechia ferquensis*, *C. boloniensis*, un débris de lamellibranche portant l'ornementation de *Lyriopecten Gilsoni*, un débris de poisson.

Ce sont les roches rouges du Mazy, rangées tantôt dans le Givetien, tantôt dans le Frasnien. On peut évaluer leur puissance à 25 mètres.

Elles passent à un complexe argilo-calcareux formé de calcaire macignoteux ou argileux bleu à joints micacés, de macigno, de bancs à éléments argilo-calcaires irrégulièrement répartis, de schistes calcareux micacés, de schistes jaunâtres, de schistes à nodules calcaires rougeâtres, de schistes gréseux foncés.

Ces couches forment une transition entre les roches rouges du Mazy et les calcaires du Givetien. Nous n'y avons découvert aucun fossile. On les rattache communément à l'assise du Mazy. D'ailleurs dans la région de Sombreffe la couleur rouge, qui apparaît ici dans les nodules, envahit toute la masse.

L'ensemble de l'assise du Mazy ainsi comprise a quelque 50 mètres de puissance.

Les calcaires givetiens sous-jacents comprennent un niveau supérieur, épais de 15 mètres, formé de calcaire très argileux alternant avec des bancs de calcschistes ; puis une dizaine de mètres de calcaire plus ou moins argileux avec bancs minces de calcschistes ; enfin une série, puissante de 20 à 25 mètres, formée de bancs de calcaire bleu-noir où les intercalations schisteuses sont rares et peu importantes.

Le niveau supérieur est très fossilifère et renferme abondamment *Spirifer pseudopachyrynchus*, *Spirifer tenticulum*, *Atrypa reticularis* et aussi *Eudechenella Verneuili*. *Spirifer Urü* est extrêmement abondant à la base du niveau moyen. Les couches inférieures renferment *Stringocephalus Burtini* et *Cyathophyllum quadrigeminum*.

La puissance totale du Givetien calcaire est de 50 mètres.

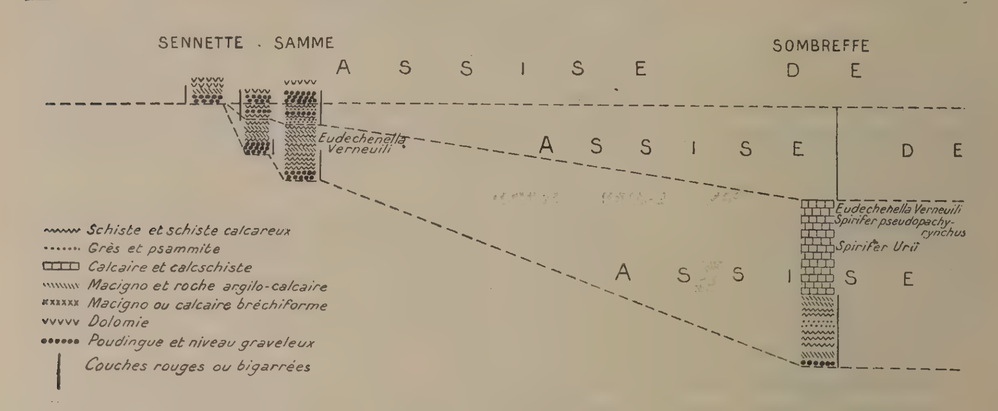
Les couches de base du Givetien sont des schistes rouges, verts et bigarrés reposant sur des macignos, psammites et grès argileux à végétaux qui alternent avec du macigno graveleux et du poudingue pisaire chargés localement de cailloux roulés de quartz et de quartzite et de débris de phyllades de 3 à 5 centimètres.

La partie inférieure du Givetien peut avoir au maximum 40 mètres.

Les caractères lithologiques des couches nous fournissent de précieuses indications sur les mouvements de la mer dévonienne en cet endroit. La mer dévonienne y atteignit à l'aurore des temps givetiens ce que nous appelons aujourd'hui le bord nord du bassin de Namur. Aux formations littorales de la base, fait suite le dépôt d'une série de calcaires dans une mer peu profonde ; la surface d'un banc est, en effet, toute parsemée de craquelures de dessiccation. Le dépôt des calcaires est suivi d'une régression annoncée par les macignos et les schistes de la partie inférieure de l'assise du Mazy et très nettement indiquée par les roches rouges schisto-calcaires, grumeleuses et bréchiformes du sommet. En même temps, il se produit un changement dans la faune ; dans la partie supérieure de l'assise du Mazy, on voit apparaître, en effet, des formes dont l'abondance caractérise le Frasnien. Survient ensuite une transgression qui, comme nous le verrons par la suite, est fort importante et dont le début est marqué par le banc poudinguiforme de la base de l'assise de Bossières.

Nous résumerons ce qui précède sous forme de tableau :

Frasnien : niveau de Bossières ; schistes à *Sp. Malaisï*	
Poudingue à la base	Transgression
Givetien : Assise du Mazy :	
b) macignos et schistes rouges	± 50 m.
a) roches schisto-calcareuses rouges	Régression
Assise claire d'Alvaux : calcaire argileux et calc schistes à *Sp. pseudopachyrynchus* (15 m.) calcaire moins argileux et calcschistes moins abondants à *Sp. Urü* (10 m.) ; calcaire bleu foncé à *Stringocephalus Burtini* (20 à 25 m.)	± 50 m
Macignos. Schistes rouges, poudingues de base (*Sp. mediotextus*)	± 40 m. Transgression



L'ensemble des couches comprises entre les deux poudingues et que nous rangeons dans le Givetien, a une puissance d'environ 140 mètres.

II. — *Région entre l'Orneau et la Méhaigne*

1° *Région de Rhisnes, Emines, Daussoulx.* — Le niveau poudinguiforme de la base du Frasnien a été suivi par M. Stainier depuis Bovesse jusqu'à Emines soit sur une longueur de 4.500 mètres.

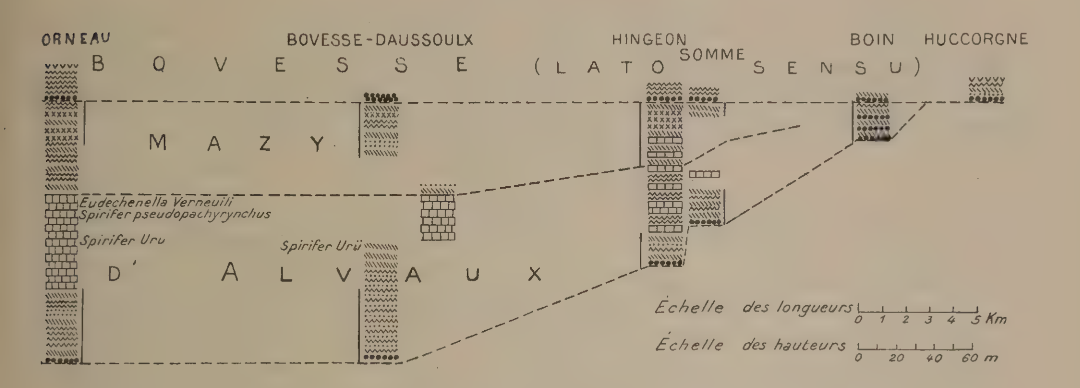
De nombreux blocs de grès graveleux, de poudingue pisaire jaunâtre, de poudingue à cailloux ovaires nombreux et à rares cailloux pugilaires de quartz et de quartzite gisent actuellement le long du jardin de la maison reportée sur la carte topographique au 1/20.000e à 920 mètres à l'Est de l'église de Bovesse. Ces blocs ont été extraits pendant la guerre d'une excavation actuellement comblée, située à plus de cent mètres au Nord de la maison.

Le poudingue paraît plus important que dans la vallée de l'Orneau ; les éléments roulés en tout cas sont plus volumineux.

Entre Emines et Cognelée, la puissance du Givetien est sensiblement la même qu'à l'Orneau ; on peut l'évaluer à 150 mètres. Le facies des couches supérieures est le même dans les deux régions. Par contre, la masse de calcaires à *Stringocephalus Burtini* d'Alvaux est représentée ici par des schistes lie de vin et vert sale alternant avec des grès verts argileux. Il en résulte que le facies quartzo-schisteux bigarré qui caractérise la base du Givetien dans la vallée de l'Orneau a empiété sur la moitié inférieure du Givetien calcaire ; il a quelque 65 mètres de puissance.

2° *Région d'Hingeon-Vezin.* — A 800 mètres au Sud d'Hingeon, l'étude des travaux de la Compagnie intercommunale bruxelloise des eaux nous a montré que les couches givetiennes n'ont plus qu'environ 90 mètres de puissance. Comme plus à l'Ouest, nous y trouvons un niveau calcaire entre deux formations bigarrées.

Nous avons relevé la même succession des couches plus au Sud, autour de Somme, hameau dépendant de Vezin ; en cet endroit, la bande dévonienne du bord nord du bassin de Namur disparaît au contact de la faille de Landenne.



La base du Frasnien y est représentée par un à deux mètres de macigno vert foncé bréchiforme et poudinguiforme. La masse renferme des blocs anguleux de calcaire de 8 centimètres de longueur et des cailloux roulés de quartz de 2 centimètres de diamètre.

Au-dessous viennent des roches argilo-calcareuses bigarrées appartenant à l'assise du Mazy ; le Givetien calcaire n'est plus représenté que par deux pointements de calcaire bleu et six mètres de calcaire compact et grumeleux verdâtre et de roches calcaréo-argileuses en gros bancs, rosées, bigarrées et gris vert. Puis viennent les couches bigarrées de la base.

On observe donc à Somme une tendance à la disparition du facies calcaire, au passage à un étage givetien uniformément bigarré. En même temps que ce changement de facies, il y a diminution de puissance : l'épaisseur de l'ensemble du Givetien est probablement comprise entre 60 et 70 mètres.

3° *Région d'Héron-Huccorgne.* — A Boing, hameau de la commune d'Héron, la base du Frasnien est formée sur 2 à 3 mètres de puissance de macigno et de calcaire impur en bancs de 8 à 15 centimètres de puissance dont le banc inférieur renferme en abondance *Spirifer Verneuili* et est poudinguiforme. Il est chargé de petits cailloux roulés de quartz et de débris anguleux de calcaire et de macigno. Le plus grand élément roulé est un cailloux plat de quartz laiteux de 6 centimètres de longueur.

Le Givetien n'est plus représenté que par une vingtaine de mètres de schistes lie de vin, bigarrés de vert et de bancs macignoteux verdâtres ou rougeâtres. Des débris plats de schistes de un centimètre de diamètre et des grains roulés de quartz de 2 à 3 millimètres de diamètre sont disséminés dans le macigno à plusieurs niveaux ; ces couches vont en s'amincissant rapidement vers l'Est pour disparaître avant qu'on atteigne la vallée de la Méhaigne.

A Huccorgne, en effet, le Frasnien repose directement sur le Silurien. Sous des calcaires argileux et dolomies avec *Atrypa reticularis*, *A. Legayi*, *Schizophoria striatula*, *Spirifer tenticulum*, *Douvillina ferquensis*, *Myophoria transrhenana*, apparaissent des macignos, du grès argileux vert foncé,

du calcaire à crinoïdes lenticulaire. Au contact du Silurien, il existe un banc poudinguiforme à ciment argileux ou quartzeux, renfermant de petits grains roulés de quartz de 2 à 3 millimètres de diamètre. Les grains plus gros sont rares ; nous en avons vu de 5 et de 10 millimètres.

III. — *Région à l'Ouest de l'Orneau*

M. Stainier a montré que les couches observées dans la vallée de l'Orneau se retrouvent avec les mêmes facies dans la région de Sombreffe.

Par contre, on observe des changements notables lorsqu'on retrouve le Dévonien dans la vallée de la Samme.

La base du Frasnien y est formée d'un poudingue rouge à nombreux cailloux pugilaires, épais de 3,50 à 4,50 mètres.

L'assise du Mazy renferme des schistes lie de vin et des grès grossiers et graveleux rouges et, d'autre part, des grès gris et gris verdâtre avec débris nombreux de végétaux.

Le reste du Givetien est représenté par des schistes gris alternant avec des macignos et qui correspondent à la partie supérieure du Givetien calcaire d'Alvaux ; à la base, par des grès graveleux rouges et des bancs de poudingues.

La puissance des couches givetiennes peut être évaluée à 45 mètres, dont douze pour l'assise du Mazy, environ 15 pour les schistes et macignos, 15 à 20 pour les couches de base.

On aura remarqué que les couches de la vallée de la Samme ont des facies littoraux plus marqués qu'à l'Est ; les poudingues de base sont plus développés, des couches graveleuses existent dans l'assise du Mazy, des grains roulés de quartz se trouvent disséminés dans les macignos. De plus, l'élément calcaire, si abondant dans la vallée de l'Orneau, n'existe plus guère qu'à un seul niveau, et encore il s'y trouve sous forme de macignos. Le caractère plus franchement littoral est encore marqué par la présence à la base du Frasnien, d'un poudingue à cailloux pugilaires de cinq à six mètres de puissance.

A remarquer que les caractères littoraux du Givetien sont encore plus accentués un peu plus à l'Ouest dans le vallon du ruisseau du bois d'Horrues ; en même temps la puissance de l'étage diminue rapidement.

Dans la vallée de la Sennette et plus à l'Ouest, il n'existe plus qu'un seul niveau de poudingue. Les couches givetiennes ont disparu ; le Frasnien repose directement sur le Silurien.

A Horrues, dans la vallée de la Senne, les couches de base du Frasnien sont formées de schistes avec bancs ou nodules de calcaire gréseux, généralement décalcarisés, renfermant des cailloux rares et petits de quartz ; de schistes lie de vin, verts ou bigarrés pouvant atteindre 5 mètres de puissance ; de poudingue rouge à ciment argileux, à cailloux de dimensions variables, les plus gros étant ovaires.

Conclusions

Il existe à la base de l'assise de Bossières ou assise de Bovesse (*lato sensu*) du Frasnien un niveau graveleux ou poudinguiforme qu'on peut observer sur tout le bord nord du bassin de Namur. Il est le mieux marqué à l'Est de Bovesse, et dans la vallée de la Samme.

Un deuxième poudingue se trouve à la base du Givetien. Entre les deux poudingues il y a un complexe de roches que nous rapportons au Givetien ; cependant la partie supérieure de ce complexe renferme déjà quelques espèces qui sont abondantes dans le Frasnien.

Le Givetien est bien développé depuis Sombreffe jusqu'à Daussoulx. Il y a une puissance d'environ 150 mètres. On peut y distinguer une assise supérieure ou assise du Mazy, complexe argilo-calcareux bigarré de 50 mètres de puissance, et une assise inférieure ou assise d'Alvaux, calcaire au-dessus, quartzo-schisteuse et bigarrée au-dessous. Les calcaires sont bien développés entre Sombreffe et Alvaux ; par contre, à l'Est d'Emines, le facies bigarré, quartzo-schisteux empiète sur la moitié inférieure du calcaire.

A l'Est et à l'Ouest de la région de Sombreffe-Alvaux-Daussoulx, le Givetien diminue rapidement de puissance en même temps que les calcaires disparaissent et que le facies devient uniformément bigarré.

Ainsi vers l'Est, le Givetien n'a plus que 90 mètres de puissance à Hingeon, 60 à 70 mètres à Somme (Vezin), 20 mètres à Boing (Héron). Il disparaît probablement à un kilomètre à l'Est, à la Ferme du Ver. Quoi qu'il en soit, à Huccorgne c'est le poudingue frasnien qui repose directement sur le Silurien.

Vers l'Ouest, le Givetien est réduit à 45 mètres dans la vallée de la Samme et n'existe plus dans la vallée de la Sennette. Dans la première vallée l'assise du Mazy a un facies nettement quartzo-schisteux.

A remarquer encore que là où le Givetien est fortement réduit, des niveaux graveleux se trouvent répartis sur toute l'épaisseur de l'étage.

On peut en conclure que la mer dévonienne a atteint la région Sombreffe-Daussoulx au début de la période givetienne pour s'étendre ensuite graduellement vers l'Est jusqu'à la Ferme du Ver en même temps que vers l'Ouest jusqu'au delà du bois d'Horrues. La fin de la période givetienne est marquée par une régression à laquelle fait suite rapidement la grande transgression du Frasnien au cours de laquelle tout le nord de la Belgique fut inondé.

Le Frasnien se montre nettement transgressif par rapport au Givetien d'une part à Huccorgne et plus à l'Est, d'autre part à Henripont et plus à l'Ouest.

LA SYMÉTRIE SUD ATLANTIQUE DANS L'ÉVOLUTION DE L'ÉCORCE TERRESTRE

par P. FOURMARIER,

Professeur à l'Université de Liége

Dans un travail publié récemment [1], j'ai cherché à mettre en évidence l'existence d'une symétrie approximative dans l'évolution de l'écorce terrestre ; j'ai montré que, dans les grandes lignes, la répartition des masses sédimentaires principales et la distribution des zones tectoniques se font de part et d'autre de certains axes, les uns orientés suivant le méridien, d'autres se rapprochant davantage des parallèles.

Parmi les axes méridiens, j'ai signalé celui de l'Atlantique et j'ai pu mettre en évidence son rôle primordial au Nord de l'équateur, les traits essentiels de la structure du continent nord-américain se retrouvant avec une parfaite netteté et symétriquement disposés sur le continent européen. Je me suis moins étendu sur la symétrie entre l'Amérique du Sud et l'Afrique ; j'ai signalé seulement les points les plus saillants.

Un travail récemment publié par M. Alberto BETIM sur la géologie du Brésil [2] va me permettre de compléter mon étude sur cette partie du globe, en établissant avec plus de précision la comparaison entre les deux rives de l'Atlantique Sud.

Il ne fait aucun doute que la région des Antilles avec ses plissements récents et ses volcans encore en activité corresponde à la région méditerranéenne de l'Europe. Toutefois la comparaison est rendue malaisée par le fait que, dans les Antilles, la mer recouvre la majeure partie des chaînes. Il est à remarquer cependant que l'arc des petites Antilles se prolongeant dans le Nord de l'Amérique du Sud par la chaîne des Caraïbes décrit, en plan, une courbe symétriquement disposée par rapport à celle que dessine la cordillère bétique prolongée en Afrique par les plissements récents du

(1) P. FOURMARIER, *Essai sur la probabilité de l'existence d'une règle de symétrie dans l'architecture de l'écorce terrestre* (*Mém. Acad. Roy. Belgique*, classe des Sciences, coll. in-8°, II, **11**, Bruxelles [1930]).

(2) Alberto BETIM, *Etat des connaissances géologiques sur le Brésil* (*Bull. Soc. Géol. de France*, IV, **29**, 35, Paris [1929]). — J'ai utilisé également comme principaux ouvrages relativement récents :

Alex. L. DU TOIT, *A geological comparison of south America with south Africa* (*Carnegie Institution of Washington*, public. n° 381 [1927]); John CASPER BRANNER, *Outlines of the Geology of Brazil to accompany the geological map of Brazil* (*Bull. of the Geological Society of America*, **30**, 189 [1919]).

Riff. De part et d'autre, les plis se déversent vers l'extérieur de la courbe, tandis que les effondrements marquent le côté interne.

Dans l'espace occupé par l'Océan, entre les Antilles et Gibraltar, peut-on supposer l'existence de plis de même âge, ou bien n'y a-t-il que des déformations atténuées correspondant à un avant-pays? C'est là une question à laquelle il n'est pas possible de répondre actuellement.

J'ai signalé dans mon travail antérieur la ressemblance très grande qui existe entre la partie Nord de l'Amérique méridionale et le Nord du continent africain. De part et d'autre, se remarque la disposition transgressive à toutes les époques vers un massif ancien, massif du Brésil, massif saharien.

Mais c'est surtout dans les régions plus méridionales que je désire chercher davantage le contrôle de la thèse proposée.

Le substratum sur lequel reposent les terrains sédimentaires normaux du Brésil, est une puissante série cristallophyllienne avec massifs de roches cristallines, considérée comme Archéen ; au point de vue tectonique les terrains se présentent avec une direction moyenne parallèle à la côte Atlantique de Sao Paulo à Bahia ; par contre au Nord de cette ville et dans tout le Nord-Est, la direction Est-Ouest domine ; comme l'écrit M. Betim, il semble que les mouvements huroniens aient tracé, le long du môle brésilien, la forme actuelle du continent Sud-américain.

On sait qu'en Afrique, il existe aussi un substratum cristallophyllien et cristallin qui affleure notamment dans la partie occidentale des Monts de Cristal au Congo et se prolonge largement vers le Nord.

Dans l'Amérique du Sud, depuis la frontière de l'Uruguay jusqu'à la côte septentrionale du Brésil, on rencontre des lambeaux de roches métamorphiques rapportées à l'Algonkien et renfermant des itabirites, des quartzites et des schistes. Des roches semblables se rencontrent également en Afrique, notamment dans le Nord-Est du Congo où elles sont, comme au Brésil, discordantes sur les gneiss.

Au-dessus des roches rattachées à l'Algonkien, les géologues brésiliens distinguent une puissante formation qu'ils considèrent comme du Cambrien malgré l'absence de fossiles ; ce sont des quartzites alternant avec des couches de schistes ; cette formation présente une certaine analogie avec les couches de la Bembizi du Congo occidental formées de schistes et de quartzites et reposant sur le substratum cristallophyllien ; ces roches du Brésil ont subi un plissement orienté du Sud-Sud-Ouest au Nord-Nord-Est ou même sensiblement méridien ; si l'on compare cette allure à celle Nord-Ouest-Sud-Est observée dans les formations de même type de la chaîne des Monts de Cristal au Congo et son prolongement vers le Nord et vers le Sud, on trouve une disposition symétrique remarquable par rapport à l'axe de l'Atlantique Sud.

La série de Bambuhy assimilée au Silurien, malgré sa pauvreté en fossiles est formée principalement de calcaires métamorphisés alternant avec des schistes verdâtres ou violacés ; les quartzites y sont rares. Cette série succédant aux roches rapportées au Cambrien, paraît être l'analogue

de la série schisto-calcaire du Congo occidental ou série Nama-Transvaal du Sud africain.

L'allure relativement tranquille de ces formations affleurant en différents endroits de Santa-Catharina et du Parana et surtout à Corumba et à Matto Grosso, rappelle l'allure que l'on observe au Congo dans la majeure partie des zones occupées par la série schisto-calcaire.

On sait qu'en Afrique, l'âge de cette série n'a pu être déterminé avec certitude ; il s'agit vraisemblablement de Silurien puisque dans l'Afrique australe, la série de Nama est au-dessous des roches du système du Cap renfermant une faune dévonienne. Mais, fait remarquable, au Nord de l'Amazone (fleuve des Trombetas), on trouve des grès siluriens fossilifères que l'on peut comparer dans une certaine mesure avec le Silurien fossilifère du Sahara. On est frappé de cette analogie dans les modifications du facies en Amérique méridionale et en Afrique et l'on ne peut s'empêcher d'établir la symétrie par rapport à l'axe Atlantique.

Le Dévonien qui surmonte le Silurien du bassin de l'Amazone est formé principalement de grès ; il rappelle le facies que l'on observe dans l'Ouadaï et l'Ennedi ou plutôt la transition entre ce facies et ceux qui s'étendent vers le Nord et le Nord-Ouest où l'aspect est déjà plus marin.

Il est à remarquer que, dans le Sud et le centre du Brésil (Matto-Grosso, Goyaz, Parana), le Dévonien est bien développé et fossilifère. Nous ne trouvons rien de semblable en Afrique, à latitude correspondante ; cependant, au Congo, la série schisto-gréseuse surmontant la série schisto-calcaire, pourrait être comparée au Dévonien de Matto-Grosso ; malheureusement aucun fossile n'y a été signalé jusqu'ici.

Le Carbonifère du bassin de l'Amazone rappelle celui de l'Afrique septentrionale ; de part et d'autre, il est localisé dans la partie Nord des deux continents en bordure de la région méditerranéenne. Vers le Sud, au contraire, il ne peut être question que des formations continentales ou subcontinentales dont le Karroo de l'Afrique australe est le type.

Le Karroo est, en réalité, une série compréhensive allant du Carbonifère tout à fait supérieur à la base du Jurassique ; il débute par un conglomérat glaciaire ; il renferme du charbon à divers niveaux ; sa partie supérieure est surtout formée de grès et comprend d'importantes venues éruptives ; l'âge de cette formation est établi par les organismes qui s'y rencontrent.

Au Brésil, dans l'Uruguay, la République Argentine, les îles Falkland, des formations de même facies et de même âge, sont connues ; elles débutent par des dépôts glaciaires ; on y trouve des couches de charbon et la partie supérieure est principalement formée de grès et couronnée par d'importantes venues éruptives.

En Afrique, le Karroo inférieur (Permo-carbonifère) est largement développé dans la Colonie du Cap ; vers le Nord et le Nord-Ouest il s'atténue et, lorsqu'on arrive au Congo belge, on ne trouve plus que de petits dépôts localisés de Permien, le Trias s'étendant largement en transgression pour former les dépôts horizontaux de la grande cuvette congolaise. De

même au Brésil, le Permien s'atténue vers le Nord ; ses assises inférieures disparaissent et le Trias s'avance en transgression.

On voit par là que l'analogie est encore évidente entre les deux continents.

Si elle était exposée simplement de telle manière, cette analogie pourrait être la résultante non pas d'une symétrie proprement dite, mais de la continuation de zones isopiques à travers l'Océan qui ne serait lui-même que la conséquence d'un affaissement relativement récent de la croûte terrestre à son endroit. Je crois possible de montrer qu'il s'agit bien, en réalité, d'une véritable symétrie par rapport à un axe coïncidant avec une région à tendance géosynclinale.

Comme je l'ai montré dans un travail antérieur (3) l'absence de Permien dans tout l'Ouest du bassin du Congo, sa présence au Sud et à la Côte d'Or, ses changements de facies dans le Nord de l'Afrique, indiquent qu'à l'endroit de l'Atlantique Sud devait se trouver, à cette époque, un bassin de sédimentation. La disposition transgressive du Trias vers Matto-Grosso au Brésil, la présence du Permien, avec fossiles marins dans son assise inférieure, à l'Est (Itarare) indique également que le bassin de sédimentation s'approfondissait vers l'Est en Amérique et que la mer se trouvait dans cette direction. On peut en conclure qu'à l'époque permienne, la région occupée aujourd'hui par l'Atlantique au Sud de l'équateur, était probablement marine et séparait deux régions à facies essentiellement continental, correspondant à l'Afrique australe d'une part et à l'Amérique du Sud à l'Est de la chaîne des Andes d'autre part.

La tectonique des terrains permo-triasiques vient appuyer très sérieusement les considérations tirées des variations de facies. Pendant la période jurassique, la région brésilienne, comme l'Afrique australe et centrale, a été exondée et les dépôts du Permo-trias ont été déformés. En Afrique, ils sont disposés, dans les lignes principales, en allure de double cuvette suivant une orientation méridienne ; l'une de ces cuvettes correspond à la région du Karroo, l'autre à la cuvette congolaise-rhodésienne. Si l'on part de la zone axiale de cette double cuvette pour se diriger vers l'Atlantique, on voit les couches permo-triasiques se relever doucement et le substratum ancien apparaît en formant un massif de plus haut relief allongé suivant le rivage Atlantique.

En Amérique méridionale, le Permo-trias s'étend de l'Uruguay à la côte Nord-Est du Brésil ; il a aussi une disposition rappelant deux cuvettes accolées dont l'orientation d'ensemble est parallèle à la côte et dont le bord oriental vient reposer sur le massif de terrains anciens s'allongeant suivant le rivage de l'Océan.

Il faut ajouter à cela que dans les îles Falkland, le Permo-trias est plissé ; il en est de même dans l'extrême Sud de la Colonie du Cap ; le même type de dislocations s'est produit ainsi à la même époque des deux côtés de l'Atlantique.

(3) P. FOURMARIER, *Les traits directeurs de l'évolution géologique du continent africain (C. R. XIVe Sess. Congrès Géol. Intern.*, Madrid, 839 [1926]).

Si nous passons à l'étude du terrain crétacé du Brésil, nous trouvons sur la côte de Sao Paulo au Parana, des dépôts lagunaires qui sont peut-être du Crétacé inférieur ; mais plus au Nord entre Bahia et Rio Grande do Norte, il existe du Crétacé marin fossilifère ; près de Bahia, le Crétacé inférieur est représenté ; plus au Nord, le Crétacé supérieur s'avance en allure transgressive ; la présence de dépôts gréseux de l'époque crétacée sur les plateaux de l'intérieur, indique une formation de type plus continental ou plus littoral ; la transgression crétacée se faisait vraisemblablement du Sud-Est vers le Nord-Ouest.

La côte Atlantique africaine montre une disposition symétrique. Dans le Sud de l'Angola, le Crétacé inférieur est bien caractérisé par une faune marine ; quand on s'avance vers le Nord, on voit les étages supérieurs s'avancer en transgression et prendre le facies littoral. On peut établir que la transgresion se faisait du Sud-Ouest vers le Nord-Est, c'est-à-dire symétriquement par rapport à celle de la côte américaine. La symétrie observée à l'époque permienne se continue à l'époque crétacée.

La période tertiaire apporte trop peu de renseignements pour que je m'y arrête davantage.

En conclusion, on voit que la symétrie Sud Atlantique signalée dans les grandes lignes se poursuit de manière satisfaisante lorsqu'on cherche à pénétrer dans le détail ; qu'il s'agisse de la distribution des facies indiquée par le tracé des zones isopiques ou des dislocations postérieures à la sédimentation, l'axe de l'Atlantique a joué, depuis les périodes les plus anciennes où l'on puisse remonter, le rôle d'un axe de symétrie. Cette constatation vient à l'appui d'une thèse que j'ai défendue dans un autre travail ([4]) à savoir que la forme actuelle du continent africain n'est pas de date récente ; à toutes les époques de son histoire, il montrait l'ébauche de ses formes actuelles. Il ne pouvait en être ainsi que s'il existait un axe de symétrie de type synclinal entre l'Afrique et l'Amérique méridionale. Celle-ci, comme le rappelle encore M. Bétim, voyait ses formes s'ébaucher déjà à une époque extrêmement reculée et elle en a conservé les traits caractéristiques pendant toute la durée des périodes géologiques jusqu'à l'époque présente.

([4]) P. Fourmarier, *Les traits directeurs de l'évolution géologique du continent africain (C. R. XIVe Sess. Congrès Géol. Intern.*, Madrid, 839 [1926]).

7e Section : Botanique

Président : M. le Prof. A. Gravis, Président de la Société Royale Botanique de Belgique.

Vice-Présidents : MM. E. De Wildeman, Klein et Van Iterson.

Secrétaire : M. L. Hauman.

Secrétaire-adjoint : M. Marcel Homès.

Première séance, Dimanche 29 juin, à 14 h. 30.

Séance commune aux sections de Zoologie et de Botanique. M. Gravis, Président, ouvre la séance et prononce une allocution rappelant le nom des grands botanistes disparus.

« Au début de ce Congrès, au moment où nous avons l'intention d'établir le bilan de l'activité des botanistes de notre pays durant le siècle qui vient de s'écouler, notre pensée se reporte tout d'abord vers ceux qui nous ont précédés et dont nous allons rappeler les travaux.

B. C. Dumortier, l'un des constituants de notre nationalité, fut un naturaliste éminent. Il est l'auteur de *Recherches sur la structure comparée et le développement des animaux et des végétaux.* Ce travail de synthèse est très remarquable, si on le considère au point de vue de la Science de l'époque. C'est à l'énergique intervention de B. C. Dumortier auprès du Gouvernement que nous devons la création du Jardin Botanique de l'Etat à Bruxelles.

F. Crépin en fut le premier directeur. Son nom a été définitivement attaché au *Manuel de la Flore de Belgique* et à la *Monographie des Roses.*

Th. Durand, son successeur, s'est adonné avec décision et persévérance à la connaissance de la Flore du Congo.

Parmi les conservateurs, citons : J. Bommer, A. Cogniaux, E. Marchal et Delogne.

La Botanique systématique eut chez nous beaucoup d'adhérents : Lejeune et Courtois, Tinant, Michot, Strail, Bellynck, Cluysenar, M. Magnel et de nombreux floristes.

L'étude des Cryptogames cellulaires fut abordée avec succès par Mlle Libert, par Gravet, Piré, E. Coemans, Westendorp, Van Heurck, J. Chalon.

Ledeganck, De Wevre, P. Nypels, H. Michiels, A. Mansion, Borieux, R. Sterckx ont produit des travaux anatomiques de valeur.

Clautriaux, Mestriaux et A. Jorissen s'occupèrent des phénomènes physiologiques dans lesquels les agents chimiques interviennent.

En paléontologie végétale se sont illustrés : le comte de Sternberg, J. J. D. Sauveur, Coemans, F. Crépin, A. Gilkinet et le comte de Saporta.

Parmi les professeurs d'Université, nous avons à mentionner : les deux

Morren, les deux Kickx, Ed. Martens, J. B. Carnoy, J. Mac Leod, Plateau, Van Bambeke, L. Errera, Laurent et J. Massart dont les travaux nous sont bien connus.

Je saluerai d'une manière toute spéciale la mémoire de R. Borieux qui fut un de mes meilleurs élèves. Préparateur du cours de Botanique dès 1913, il était docteur en sciences naturelles depuis quelques jours seulement lorsque la guerre éclata. Il n'hésita pas à traverser la Meuse à la nage, à Lanaye, pour se rendre à l'appel de notre Roi. Il fut incorporé au 9e régiment de ligne ; il prit part à la dernière offensive et mourut à l'ennemi le 8 octobre 1918 à Hoogstaede.

Cette rapide énumération montre que la Botanique a toujours eu chez nous de nombreux adeptes. C'est donc à bon escient que notre Société a accepté la mission de rappeler la part que notre pays a prise dans le mouvement scientifique.

Lors du cinquantenaire, cette mission avait été confiée à un seul savant, le professeur A. Gilkinet (1) qui sut retracer de main de maître les progrès réalisés dans tout le domaine des Sciences naturelles. Lors du soixante-quinzième anniversaire, la besogne a été partagée entre les représentants des diverses sciences (2). Aujourd'hui, à l'occasion du centenaire, chaque chapitre aura son rapporteur. C'est la mise en pratique d'une méthode de spécialisation de plus en plus marquée, avec ses avantages et ses inconvénients.

Je céderai donc la parole à ceux de nos confrères qui ont bien voulu se charger d'exécuter ce programme. »

La section élit trois vice-présidents (voir ci-dessus) désignés à l'unanimité des voix. M. Klein remercie.

La séance étant consacrée à des rapports sur les progrès des connaissances sur la Flore belge, depuis la publication du *Prodrome* de MM. de Wildeman et Durand (1898-1907), le président donne la parole à M. Hauman qui expose le but que s'est proposé la commission désignée par la Société botanique : la publication d'addenda au *Prodrome* mentionné plus haut, addenda si considérables qu'il a fallu se résoudre à ne présenter au Congrès que des communications préliminaires servant d'introduction aux différentes parties du travail *in extenso* qui sera publié par la suite. M. Magnel, récemment décédé, avait été désigné pour les Plantes vasculaires : M. Hauman donne un bref aperçu de ce qui reste à faire sur cette partie la mieux connue de notre flore (voir plus loin).

M. Kufferath lit son Rapport sur *Le Développement de l'Algologie en Belgique de 1830 à 1930.*

M. Beeli parle de l'*Evolution de la Mycologie en Belgique de 1830 à 1930.*

M. Naveau, empêché, communiquera son travail sur *les Bryophytes*, et

(1) *Cinquante ans de liberté*, t. II, Bruxelles, 1881.
(2) *Le Mouvement scientifique en Belgique*, 1907.

M. GILTAY n'a pu lire sa *Note sur les Lichens de Belgique* qu'à la séance du 30 juin.

A la suite de ces communications M. Hauman donne lecture d'un projet de vœu à présenter à la session plénière, vœu admis à l'unanimité et tendant à faire obtenir à la Société de Botanique les ressources nécessaires à la publication des Addenda au *Prodrome*. Le texte figure au compte rendu de la session plénière.

M. VAN OYE lit un rapport sur la *Phytogéographie en Belgique depuis 1830 jusqu'à' nos jours.*

M. KLEIN fait une communication sur l'*Hymenophyllum et ses conditions de vie* et fait passer des photographies et des échantillons.

A 17 heures, le président cède le fauteuil à M. Willem, président de la section zoologique (voir le compte rendu de cette section).

2e SÉANCE, LUNDI 30 JUIN À 9 H. 30.

Présidence : M. GRAVIS.

On entend les communications suivantes :

M. E. MARCHAL : *A propos de la brûlure du lin.*

Suit une discussion où interviennent MM. De Wildeman, Hauman et Marchal.

M. VERPLANCKE : *Etude cytologique des verrues de la pomme de terre attaquée par le Synchytrium endobioticum.*

Prennent part à la discussion MM. De Wildeman, Gravis, Lathouwers et Marchal.

Mlle M. BRAECKE : *La Mélanogénèse chez les végétaux.*

Prennent la parole à ce sujet : MM. Stockmans, Navez et Hauman.

M. R. VANDENDRIES : *La Contribution belge à l'Etude du problème sexuel des Champignons.*

M. Marcel HOMÈS : *La pénétration du bleu de méthylène dans les cellules d'Elodea canadensis.*

Interviennent dans la discussion : MM. Navez, Marchal et Vandendries.

M. DE SELYS-LONGCHAMPS : *La floraison printanière du Colchique d'automne* (lu par le secrétaire).

Entre la communication de Mlle Braecke et celle de M. Vandendries, M. Dupréel, qui avait été prié par la section d'exposer quelques feuilles de son magnifique herbier, explique le procédé qu'il emploie, procédé basé sur l'emploi de l'ouate et qui assure la conservation des couleurs et surtout de l'habitus des plantes. Divers congressistes expriment leur admiration pour les résultats obtenus et M. Hauman fait observer l'intérêt scientifique qu'il y aurait à employer ce procédé pour les exemplaires destinés à la reproduction par le dessin ou même la photographie.

3e Séance, Lundi 30 juin, à 14 h .30.

M. Klein, Vice-président, ouvre la séance.

La séance est consacrée aux rapports demandés par la section sur *Les recherches réalisées par des Belges dans les différents domaines de la botanique.*

M. A. Gravis : *L'Anatomie végétale.*

M. E. Marchal : *Le développement des études phytopathologiques en Belgique.*

M. V. Lathouwers : *Les travaux sur la Génétique en Belgique jusqu'en 1930.*

M. De Wildeman : *La Botanique congolaise depuis 1830.*

M. L. Hauman : *La Botanique systématique en Belgique depuis 1830.*

A la suite de son rapport M. Hauman propose à la section d'émettre un vœu demandant la création d'un enseignement de la botanique systématique au Jardin botanique de l'Etat. Après une discussion où interviennent MM. Gravis, Robyns, De Wildeman et Marchal, le vœu est adopté.

Les rapports demandés sur la Physiologie et la Paléobotanique, ne sont pas parvenus au secrétaire.

On entend ensuite les communications suivantes :

M. R. Vandendries : *La conduite sexuelle des Hyménomycètes interprétée par la théorie de Hartmann.* (Ce travail sera imprimé dans une autre publication.)

Dans la discussion interviennent MM. Lathouwers et Robyns.

M. Giltay : *Les progrès réalisés depuis 1907 dans la connaissance des Lichens de la Belgique.* (Voir séance du dimanche.)

M. Van Aerdschot : *Histoire des publications botaniques en Belgique depuis 1830.* Ce travail trop long et ne se prêtant pas par sa nature à être résumé, n'a pu trouver place dans les Actes de ce Congrès.

La séance est levée à 17 h. 30.

Mardi 1er juillet.

Excursion organisée par la section botanique :

Le matin, visite du Jardin Expérimental Jean Massart, à Rouge-Cloître, sous la conduite de son directeur, M. Conard.

L'après-midi, excursion en autocar dans le Brabant méridional (Bois des Rocs, à Fauquez et tourbières de Oisquercq) conduite par MM. Beeli et Hauman.

Une quarantaine de personnes y ont assisté.

4e Séance, Mercredi 2 juillet à 9 h. 30.

M. Gravis, président, ouvre la séance, commune aux sections de Biologie et de Botanique.

Les communications suivantes sont entendues :

M. DE BRUYNE : *L'Institut de Botanique de l'Université de Gand.* Lu par M. Van Oye.

M. SCHUYTEN : *Groeikrommen van Triticum vulgare, Hordeum vulgare, Secale cereale, Avena sativa in verband met groeikrommen in het algemeen.*

Suit une discussion à laquelle prennent part M. Navez et l'auteur.

M. CONARD : *Sur la formation de la membrane chez certaines espèces de Spirogyra* ; demandent la parole, MM. Robyns, De Wildeman et Conard.

M. HAUMAN : *Recherches sur l'ascension de la sève.*

Prennent la parole, MM. Gravis, Conard et Navez.

Le sécrétaire lit les textes définitifs des vœux sur la création d'un enseignement de la systématique au Jardin botanique de l'Etat et sur la Protection de la Nature ; ils sont approuvés à l'unanimité (ils figurent au compte rendu de la séance plénière).

M. NAVEZ : *Processus biologique et température* (avec projections lumineuses).

M. Conard prend la parole.

M. Van Iterson remercie la section botanique de l'avoir désigné comme vice-président et manifeste son admiration pour l'activité scientifique belge après la guerre.

La séance est levée à 12 h. 30.

RAPPORTS SUR LES PROGRÈS RÉALISÉS DEPUIS 1907 DANS LA CONNAISSANCE DE LA FLORE BELGE

I. — INTRODUCTION ET PHANÉROGAMES

par Lucien HAUMAN,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

Grâce au labeur aussi désintéressé que patient et considérable de deux de nos meilleurs botanistes, MM. Durand et De Wildeman, nous possédons comme on le sait, sous le nom de *Prodrome de la Flore belge* [1], un tableau donnant une idée complète de nos connaissances sur la végétation spontanée de notre pays jusqu'en 1907. Et les auteurs, avec orgueil, pouvaient dire que la Belgique était le premier pays d'Europe, et même du monde, possédant un catalogue complet de sa flore depuis les Schizophytes jusqu'aux Phanérogames.

Si, à cette époque, les plantes vasculaires, sauf la restriction que nous ferons plus loin, étaient déjà très bien connues, cet ouvrage, pour les Cryptogames, n'était qu'un travail préliminaire — un vrai prodrome — et Durand, dès la première page de son introduction, affirmait, en le démontrant par des chiffres, que certaines de nos provinces étaient à peine étudiées.

Depuis vingt-cinq ans, beaucoup de travaux ont été publiés sur nos plantes inférieures, mais ils sont disséminés, et leurs résultats difficiles à consulter, même pour les spécialistes. Le Comité de la section botanique du Congrès a donc pensé qu'une façon utile de célébrer notre centenaire serait de publier des Addenda au *Prodrome*, et a décidé de demander pour cela la collaboration de quelques-uns de nos spécialistes, M. Kufferath, pour les Schizophytes et les Algues, MM. Beeli et Marchal pour les Champignons, M. Giltay pour les Lichens, M. Naveau pour les Bryophytes et M. Magnel pour les plantes vasculaires.

Seulement, dès que nos cryptogamistes se sont mis à l'œuvre, ils se sont rendu compte que nos connaissances sur nos plantes inférieures s'étaient beaucoup plus considérablement augmentées depuis un quart de siècle que nous ne l'avions supposé, et que, même au cas peu probable où les listes additionnelles auraient pu être dressées pour la date de cette réunion, leur amplitude rendrait leur publication tout à fait impossible dans les actes de ce Congrès, d'autant plus que les progrès considérables réalisés dans la systématique de certains groupes rendent presque indispensable

(1) E. De Wildeman et Th. Durand, *Prodrome de la Flore belge*, 3 vol., Bruxelles, 1898-1907.

la publication de Corrigenda, au point de vue synonymique surtout, à côté des Addenda proprement dits. Le Comité de la section botanique a donc dû réduire son programme et a pris la décision suivante : demander aux collaborateurs désignés de ne présenter au Congrès qu'une sorte d'introduction à leur travail, de remettre à plus tard la publication successive dans le *Bulletin de la Société Botanique* des différentes contributions (des tirages à part pouvant être prévus pour être mis dans le commerce), et enfin, de demander à la Section de formuler un vœu à soumettre à l'approbation du Congrès en séance plénière, vœu tendant à obtenir les fonds nécessaires à la publication de l'ouvrage projeté.

Je dois malheureusement rappeler ici que la mort nous a privés récemment de la collaboration de M. Magnel, que sa connaissance parfaite de nos Phanérogames avait tout naturellement désigné au choix du Comité. Ce n'est qu'à titre tout à fait provisoire que j'ai accepté de le remplacer ici pour dire quelques mots sur ce qui reste à faire pour nos plantes vasculaires.

Celles-ci, depuis la fin du siècle dernier, sont évidemment bien connues et le *Prodrome* de De Wildeman et Durand, qui, par ses dimensions considérables, n'est malheureusement pas à la portée de tous nos floristes, nous a donné déjà, au point de vue synonymique, la révision devenue indispensable de la nomenclature vieillie et souvent tout à fait périmée du *Manuel* de Crépin. Cependant, d'une part, un certain nombre d'espèces nouvelles ont été mentionnées pour notre Flore : nous avons d'abord des plantes introduites et naturalisées, dont quelques-unes, comme *Matricaria discoidea* DC. sont devenues des mauvaises herbes répandues dans le pays tout entier, ou comme *Corispermum hyssopifolium* L. se maintiennent depuis des années en grande abondance en certains habitats ; d'autre part, la révision des genres difficiles comme *Rubus, Rosa, Hieracium*, a introduit les modifications plus ou moins importantes dans l'énumération de nos espèces. Mais il faut aussi signaler le fait que beaucoup de nos genres ou familles ont été, postérieurement à la publication du *Prodrome*, l'objet de monographies générales (*Carex* par Kükenthal, 1909 ; Joncacées par Buchenau, 1906 ; Potamogetonacées par Ascherson et Graebner, 1907 ; nombreuses tribus de Crucifères par O. E. Schulz dans ces dernières années, etc.) ou de révisions partielles très approfondies, comme celle de *Festuca* par Sainte-Yves (1928), ou comme celles du *Synopsis der Mitteleuropäischen Flora.* Il serait donc hautement désirable que le catalogue de nos espèces vasculaires soit l'objet d'une révision complète.

A défaut d'une vraie Flore mise à jour, il devrait exister pour nos plantes supérieures une simple énumération complète et correcte, tant au point de vue systématique que synonymique, énumération où pourraient figurer les variétés les plus importantes, et qui serait d'une très grande utilité, tant aux naturalistes qu'aux professeurs ou aux amateurs. Cete liste vulgariserait les progrès réalisés depuis un demi-siècle, progrès trop peu connus par nos floristes pour qui le *Manuel* de Crépin, excellent, mais

vieilli, est resté une sorte d'évangile, et permettrait de trouver facilement les noms actuels de nos plantes, dont quelques-unes, parmi les plus communes, sont encore désignées souvent chez nous par des noms périmés ou inexacts.

Tel est le service le plus urgent que l'on puisse rendre, me semble-t-il, à notre Floristique.

Mais pour réaliser le programme esquissé ci-dessus, il faut non seulement des collaborateurs de bonne volonté, mais aussi les ressources nécessaires à la publication de leurs travaux. C'est pour cela que je me permets de proposer à l'approbation de la section botanique le vœu suivant :

Plus aucun ouvrage d'ensemble sur la flore belge n'ayant paru depuis le Prodrome *de MM. De Wildeman et Durand (1898-1907), le Congrès National des Sciences émet le vœu que les subsides nécessaires soient accordés à la Société Royale de Botanique de Belgique pour qu'elle réalise, avec les collaborateurs qu'elle choisira, la publication d'Addenda à l'ouvrage mentionné plus haut, Addenda qui au point de vue de la systématique, de la nomenclature, et de la distribution des espèces constitueront une mise au point de nos connaissances sur la Flore du pays.*

II. — LE DÉVELOPPEMENT DE L'ALGOLOGIE EN BELGIQUE DE 1907 À 1930

par H. KUFFERATH.

Directeur du Laboratoire intercommunal.

L'historique de l'algologie belge fait en 1912 par W. Conrad complète les renseignements que l'on trouve dans le *Prodrome* de De Wildeman et Durand, terminé en 1907. Depuis lors, de nombreux travaux ont été publiés sur les Algues en Belgique, un grand nombre de ces travaux se rapportent à la flore algologique belge.

Ce sont surtout des élèves de Jean Massart qui ont contribué à l'enrichissement de notre connaissance des Algues de Belgique. Rappelons les travaux de Schouteden, Mme Schouteden-Wéry avec la collaboration de Van Heurek, W. Conrad, Kuffeath. Le *plancton* marin a été étudié par A. Meunier, de Louvain ; Van Oye, de Gand s'est surtout occupé d'apologie tropicale. D'autres chercheurs ont publié des travaux occasionnels sur les Algues. Citons : H. Micheels, Conard, de Saedeleer, de t'Serclaes, Docquier, Frémineur, Hannevaert, F. A. Janssens, Laureys, Levenson, Loppens, Maltaux, Mélant, R. Naveau, Paque, Sokoloff, Stockmans, Stomps, Terby. Comme nous le disions, beaucoup de ces travailleurs furent élèves de Massart.

Je serais incomplet si je ne parlais pas d'Ernest Rousseau, de sa station biologique d'Overmeire et des *Annales de Biologie lacustre*, continuées par le *Bulletin* de l'Institut Zoologique Torley-Rousseau, annexé à l'Université Libre de Bruxelles. La station d'Overmeire est remplacée par celle de Rouge-Cloître, par le Jardin expérimental Jean Massart, qui a déjà produit quelques travaux intéressants, ceux de De Saedeleer, de Conard et Ledoux.

Nous venons de vous présenter les acteurs. Voyons le résultat de leurs efforts, de leurs recherches dans des directions variées : systématique, physiologie, biologie, cytologie et technique.

Disons, avant de donner quelques indications sur ces travaux, que les recherches systématiques apparaissent comme les plus fécondes. Il importe en effet en premier lieu de connaître notre flore algologique et les ressources qu'offre notre pays.

Grâce à la flore des Algues de Belgique de De Wildeman, nous pouvons juger du chemin parcouru. Un peu de statistique fixera les idées.

De Wildeman avait signalé, en 1907, pour la Belgique, 1228 espèces d'Algues ; en comptant les variétés, on arrive à un total de 1.476 formes cataloguées, appartenant à 322 genres.

D'après les relevés que nous avons faits, on compte, à ce jour, 475 genres et 2.631 espèces et variétés.

Depuis le *Prodrome*, le nombre des genres nouveaux s'est considérablement augmenté, nous notons 153 genres non signalés antérieurement. En voici la liste détaillée :

CYANOPHYCEAE : *Aphanocapsa* Naeg., *Aulosira* Kirsch, *Camptothrix* W. et G. S.. West, *Dactylococcopsis* Hansg., *Gloeocapsa* Ktz., *Gloeothece* Naeg., *Microchaete* Thuret, *Microcystis* Ktz., *Plectonema* Thuret, *Polychlamidum* W. et G. S. West, *Schizothrix* Ktz., *Synechococcus* Naeg.

DIATOMEAE (BACILLARIALES) : *Amphoropsis* Grun., *Attheya* West, *Bacteriastrum* Shad., *Caloneis* Cl., *Cerataulina* Per., *Coscinosira* Gran, *Guinardia* Per., *Homoeocladia* Ag., *Lauderia* Cl., *Leptocylindrus* Cl., *Paralia* Heib., *Stauropsis* Meunier, *Streptotheca* Shrubs., *Thalassiosira* Cl., *Thalassiothrix* Cl. et Grun., *Triceratium* Ehr., *Tryblionella* (W. Sm.) Grun.

FLORIDEAE ET PHAEOPHYCEAE : *Glaucocystis* Itzigs., *Phaeocystis* Lagerh. (c'est peut-être une Chrysomonadine).

DESMIDIACEAE : *Calocylindrus* (Naeg.) Kirchn., *Cosmocladium* Bréb., *Cylindrocystis* (Menegh.) D. B., *Mougeotia* (Ag.) Wittr., *Netrium* Naeg., *Pleurotaenium* (Naeg.) Lund.

TETRASPORALES : *Apiocystis* Naeg., *Palmodactylon* Naeg., *Sphaerocystis* Chodat.

PROTOCOCCALES : *Ankistrodesmus* Corda, *Chodatella* Lemm., *Chlorella* Beyer., *Chlorococcum* Fries, *Conradia* H. K., *Coccomyxa*, Schm., *Crucigenia* Morren, *Errerella* W. Conrad, *Golenkinia* Chodat, *Palmellococcus* Chodat, *Radiococcus* Schm., *Richteriella* Lemm., *Selenastrum* Reinsch, *Polyedrium* (Naeg.) Hangs. s-g. de *Tetraedron* Ktz., *Tetracoccus* West, *Trochiscia* Ktz.

PROTOCOCCALES : ins. sed. *Botrydina* Bréb., *Dactylothece* (Naeg.) Lagerh., *Gloeolaenium* Hansg., *Keratococcus* Pascher.

ULOTHRICALES : *Endoclonium* Szymonski, *Gloeotila* Borzi, *Hormidiopsis* Heering, *Hormidium* Ktz., *Hormospora* Bréb., *Prasiola* Ag., *Raphidonema* Lagerh., *Stichococcus* Gay, *Ulothrix* Ktz.

VOLVOCALES : *Carteria* Diesing, *Bommeria* H. K., *Chlorotriangulum* H. K., *Coccomonas* Stein, *Pedinopera* (Playf.) Pascher, *Phacotus* Perty, *Pleodorina* Shaw, *Pyramidomonas* Schmarda, *Scherffelia* Pascher, *Sphaerella* Sommerfeldt, *Spondylomorum* Ehr., *Thorakomonas* Korschikoff.

FLAGELLATA :

Pantostomatinae : Multicilia Cienk., *Pteridomonas* Pénard ;

Protomastiginae : Collodictyum Carter, *Diplosiga* Francé, *Codonocladium* Stein ;

Distomatinae : Hexamitus Duj., *Urophagus* Kl. ;

Chloromonadinae : Reckertia W. Conrad, *Vacuolaria* Cienk, *Thaumatomastix* Lauterb. ;

Eugleninae : Cryptoglena Ehr., *Lepocinclis* Perty ;

Craspedomonadinae : Codonosiga J. Clark, *Desmarella* Kent ;

Flagellata ins. sed. : *Errera* Schouteden. Les genres suivants figurés par J. Massart dans les Eléments de Biologie Générale : *Hemiflagellata* : *Podomastix*, *Dimorpha* ; *Euflagellata* (Protomastiginae) *Archaeobodo*, *Diphyllaea*, *Prismatomonas*, *Stephanomonas*.

Dinoflagellata : *Amylax* Meunier, *Ceratodinium* W. Conrad, *Chilodinium* J. M., *Exuviella* Cienk., *Coolia* Meunier, *Dinophysis* Ehr., *Diplopsalis* Bergh, *Goniaulax* Diesing, *Massartia* W. Conrad, *Phyllodinium* W. Conrad, *Polykrikos* Buetschli, *Properidinium* Meunier, *Prorocentrum* Ehr., *Protoceratium* Bergh, *Pyrocystis*, *Pyrophacus* Stein, *Spirodinium* Schuett, *Trochodinium* W. Conrad, le genre *Heterocapsa* signalé dans Massart : Eléments de Biologie générale.

Chrysomonadinae : *Chrysapsis* Pascher, *Chrysobotrys* W. Conrad, *Chrysococcocystis* W. Conrad, *Conradiella* Pascher, *Coccochrysis* W. Conrad, *Derepyxis* Stokes, *Dictyocha* Ehr., *Ebria* Borgert, *Echinochrysis* W. Conrad, *Kephyrion* Pascher, *Kephyriopsis* Pascher, *Microglena* Ehr., *Nematochrysis* Pascher, *Ochromonas* Wyssotzski, *Pascherella* W. Conrad, *Pedinella* Wyssotzki, *Pleuromastix* Scherffel, *Prymnesium* J. M., *Pseudokephyriopsis* Pascher, *Pseudomallomonas* Chodat, *Sphaleromantis* Pascher, *Stylococcus* Chodat, *Syracosphaera* Lohmann, *Uroglena* Ehr., *Wyssotzkia* Lemm.

Coccolithophoraceae : *Acanthoica* Schiller.

Herotokontae : *Botrydiopsis* Borzi, *Bumilleria* Borzi, *Centritractus* Lemm., *Characiopsis* Borzi, *Chlorobothris* Bohlin, *Tribonema* Derbès et Solier.

Nous avons relevé le nombre d'espèces et de genres du *Prodrome* et ceux découverts depuis.

	Espèces et variétés	
	Prodrome	Compléments
Cyanophycées	86	201
Diatomées	712	1.037
Phéophycées, Rhodophycées, Floridées	146	149
Zygnemales	46	58
Desmidiées	197	366
Chlorophycées variées	169	340
Volvocales	12	65
Flagellés variés	90	398
Characées	17	17
Totaux	1.476	2.631

Il y a lieu de noter qu'en plus de l'augmentation numérique spécifique, nos listes renferment pour les Algues, déjà signalées dans le *Prodrome*, de très nombreux renseignements sur la dispersion des espèces dans les diverses régions du pays.

	Genres		
	Prodome	Compléments	Total en 1930
Cyanophycées	28	12	40
Diatomées	68	17	85
Floridées, Rhodophycées	38	1	39
Phéophycées.	28	1	29
Chlorophycées, Zygnemées	5	0	5
Desmidiées	21	6	27
Chlorophycées variées	54	32	86
Volvocales	10	13	23
Flagellates variés	17	0	17
Pantomastigines	1	2	3
Protomastigines	13	3	16
Distomatines.	1	2	3
Chloromonadines	1	3	4
Euglénines	14	2	16
Craspedomonadines	0	2	2
Insert. sed.	1	7	8
Dinoflagellates	9	18	27
Chrysomonadines	9	25	34
Coccolithophoracées	0	1	1
Hétérocontées	0	6	6
Characées	4	0	4
	322	153	475

Ce tableau des genres est instructif et montre l'importance des acquisitions nouvelles pour chacun des groupes principaux d'Algues. Sont nouveaux : 71 genres de Flagellés, 51 de Chlorophycées. Les Diatomées et Cyanophycées nouvelles sont relativement peu nombreuses. Enfin, il n'y a guère eu de découvertes parmi les Floridées, Phéophycées et Characées. Les algologistes ne se sont guère intéressés à ces trois derniers groupes où pourtant, du moins pour les deux premiers, nos connaissances se sont fort développées.

Globalement, on a découvert, en une vingtaine d'années, très approximativement un nombre de genres nouveaux équivalent à la moitié de ce que nous connaissons d'après les indications du *Prodrome*.

Notons que dans cet ensemble, il y a des genres nouveaux pour la science et la découverte d'espèces qui, jusqu'ici, n'ont été trouvées qu'en Belgique. Cela montre l'intérêt que présente l'étude algologique dans notre pays et les ressources que l'on peut y trouver.

Pourtant, le nombre de localités visitées par les chercheurs n'est pas très grand. Nous avons marqué sur la carte les endroits où des récoltes furent faites, et nous nous sommes rendu compte que des régions entières sont inexplorées.

Disons quelques mots de la flore algologique fossile. Sauf le travail très ancien de Deby sur les Diatomées du sous-sol de l'argile des Polders, d'Ostende à Bruges, on ne connaît rien. Il y aurait certes intérêt à étudier nos terrains géologiques au point de vue des Algues fossiles.

Quant à la cytologie, il y a lieu de signaler les travaux de l'Ecole de

Louvain (voir *La Cellule*), les recherches de Conard sur *Spirogyra* et *Melosira*, de Docquier sur la division nucléaire chez *Anthophysa elegans*.

La physiologie des Algues a été plus travaillée, mais dans des directions assez variées. Massart et ses élèves se sont spécialement intéressés aux Flagellates et aux réactions de ces organismes au milieu, réaction de tonus, irritabilité. Hannevart étudia des Thiobactéries, Janssens les mouvements de *Polytoma uvella*, Levenson le rhéotaxisme, Maltaux et Massart, les excitants de la division nucléaire, Massart la mobilité des Flagellates, Mélant l'encystement d'infusoires marins, H. Micheels l'action des liquides anodiques et cathodiques sur les organismes marins, Sokoloff l'absorption et la vitalité des Protozoaires, Terby la réviviscence des végétaux, De Wildeman réédite en 1929 un article de 1895 sur le thermotaxisme des Euglénes. Pour les Algues supérieures, Conrad étudia le géotropisme d'*Himanthalia*, Micheels le thalle de *Dictyota dichotoma*, Stomps la variabilité de quelques *Fucus*, Laureys les Algues officinales.

On note de nombreux aperçus physiologiques dans les diverses monographies d'Algues de W. Conrad, de De Saedeleer.

Les cultures pures d'Algues ont fait l'objet des travaux de Maltaux et Massart, de Kufferath pour *Chlorella*, *Porphyridium cruentum* et diverses Chlorophycées.

Il ne serait pas inutile de connaître la flore algologique de notre colonie. Peu de renseignements existent sur les Algues du Congo, en dehors d'une note déjà ancienne de De Wildeman, de quelques mémoires de Van Oye, ainsi que des renseignements disséminés et difficiles à dénicher.

Pour avoir une idée à peu près complète de l'activité algologique qui s'est manifestée en notre pays, il serait injuste de ne pas citer des travaux et mémoires publiés soit par des étrangers en Belgique, soit par des Belges à l'étranger, relatifs à des études sur la flore de pays voisins ou éloignés. La liste de noms suivants, bien qu'incomplète, témoigne de l'importance de ces contributions.

Les études des récoltes de la *Belgica* par Van Heurck, De Wildeman ; A. Meunier, le plancton de la mer de Barent ; plusieurs travaux d'Héribaud sur les Diatomées d'Auvergne ; la thèse de Virieux, des notices de Schodduyn sur la *Flore des eaux de la Flandre française*, que l'on consultera avec fruit pour l'étude des Algues de nos Flandres ; des travaux sur les flores exotiques de Fritsch, Gutwinsky et Schmieliewsky, Kufferath, Van Oye, De Wildeman ; des mémoires et études biologiques de lacs, étangs, etc., de Thiébaud, Le Roux, F. Verschaffelt, Fritsch, Monti, Namyslowski, Pardo, H. Robert, Schneider, Stappers, Thiébaud et Favre, Van Heurck, Chalon ; des monographies sur des genres critiques par W. Conrad ; des notes sur des Diatomées fossiles par Printz, Deby, Bleicher, Renault ; des notes variées de Pénard, Dangeard, Robert, Jaccard.

La liste est loin d'être complète, nous la donnerons ultérieurement avec celle des travaux algologiques intéressant plus spécialement la Belgique et le Congo Belge.

Nous nous proposons de dresser l'inventaire des herbiers d'Algues existants en Belgique. Nous avons déjà des renseignements sur ceux de Bruxelles et d'Anvers. Nous serions heureux d'obtenir, des institutions scientifiques et privées, des indications à ce sujet ainsi que la mention des nouvelles acquisitions en herbiers intéressant l'algologie. Ces renseignements sont indispensables pour des déterminations ; l'étude d'échantillons originaux devient souvent indispensable et nous pensons qu'il y aurait là, pour les spécialistes, une occasion d'études fructueuses.

Le rapide aperçu que nous venons d'esquisser n'est, en somme, qu'une courte entrée en matière pour les compléments aux Algues du *Prodrome* de De Wildeman et Durand. J'ai essayé de donner une vision du travail considérable qui a été accompli depuis 1907.

J'ai cru qu'il n'était pas inutile d'exposer quelques idées sur ce qui devrait être réalisé, sur les lacunes de nos connaissances algologiques, sur les techniques et les disciplines à suivre.

Je prie mes collègues de bien vouloir me faire parvenir les renseignements ou les tirés à part qui permettront de compléter les listes mises à jour jusqu'ici, en ce qui concerne la Belgique et le Congo, tant pour les Algues actuelles que pour les Algues fossiles.

Vous direz peut-être avec moi, que si le passé de notre science algologique belge est intéressant à plus d'un titre, son avenir réserve aux chercheurs de grandes joies scientifiques et de belles découvertes.

III. — ÉVOLUTION DE LA MYCOLOGIE EN BELGIQUE DE 1830 À 1930

par M. BEELI

Les mycologues sont gens modestes. Ils sont généralement peu connus, si ce n'est de leurs confrères. Ils sont moins nombreux que les autres botanistes, et cela, parce que la mycologie est moins attrayante, au premier abord, que les autres branches de la botanique. Un herbier de Champignons n'a que bien peu de charme, il est souvent vilain d'aspect, et l'étude de ces Cryptogames exige non seulement de très bons yeux, mais l'usage continu et fatigant du microscope.

La commémoration du centenaire de notre indépendance est une occasion de rendre hommage à ces Belges, qui en consacrant une partie de leur vie à étudier ces plantes, ont contribué au grand labeur scientifique de notre pays.

L'étude des Champignons peut se faire à deux points de vue différents. L'un essentiellement utilitaire, les prend dans leurs rapports avec les autres organismes, particulièrement en considération des maladies et des ravages qu'ils causent aux végétaux supérieurs et aux plantes de culture. C'est le domaine de la Phytopathologie. L'autre purement scientifique ou floristique envisage les Champignons pour eux-mêmes à un point de vue biologique ou systématique. C'est de ce dernier point de vue que je veux principalement parler, laissant à notre éminent collègue, le professeur Marchal, le soin de traiter le point de vue phytopathologique.

Les divers travaux de Biologie ou de Physiologie se rapportant à des Champignons ont été nombreux durant ces cinquante dernières années. Des personnalités scientifiques de tout premier ordre s'y sont distinguées, et plusieurs de ces travaux ont eu une portée universelle. Je ne puis les citer tous, mais je rappellerai pourtant les recherches anatomiques et physiologiques de J.-B. Carnoy, les célèbres recherches de Léo Errera sur le glycogène, les études de Em. Laurent sur les levures, ainsi que celles que poursuit encore aujourd'hui, sur ces mêmes champignons H. Kufferath, les recherches de Ch. Bommer sur les sclérotes, celles de De Wèvre sur *Phycomyces nitens*, celles si remarquables de Vandendries sur la sexualité des Basidiomycètes, les travaux de Van Bambeke, de Coemans, de Nypels, de Gravis, de De Wildeman, de Biourge, des Marchal.

En systématique, avant 1830, un seul nom ; celui de François Van Sterbeeck qui publia au XVI[e] siècle son *Theatrum fungorum*. Il est probable qu'à la fin du XVIII[e] siècle, le père de J. Kicks se soit occupé de Champignons, mais c'est seulement en 1830 que paraît le premier herbier mycologique belge d'une valeur réelle. Marie-Anne Libert, née en 1782 à

Malmédy, se servait encore du vieux Cruytboek de Dodoens, mais remarquée bientôt, puis guidée et encouragée par le Dr Lejeune de Verviers et plus tard par De Candole, elle s'initia aux méthodes nouvelles de la systématique. Son *Plantae Cryptogamicae quae in Arduennis collegit* est un magnifique herbier de plusieurs centaines de feuilles, fait avec le plus grand soin et accompagné de nombreuses notes. Il est encore parfaitement conservé et doit être considéré comme la base de notre flore mycologique.

Vers la même époque, Jean Kickx récoltait des Champignons en Brabant et en Flandre. En 1835, paraît sa *Flore cryptogamique des environs de Louvain* et, en 1867, son fils fait éditer l'ouvrage important *La Flore cryptogamique des Flandres* qui complète, pour la partie basse du pays, les recherches que Marie-Anne Libert avait faites en Ardenne.

L'exemple de ces deux premiers mycologues est suivi par Westendorp qui, aidé de son ami Wallays, herborise particulièrement dans la région de Courtrai, en Flandre et en Brabant. En 1850, paraît une liste de plantes, *Herbier cryptogamique de Belgique*, puis quelques années plus tard un ouvrage curieux, *Les Cryptogames classés d'après leurs stations naturelles*. En 1853, Mathieu, dans un *Essai de Flore générale de Belgique*, consacra un chapitre important aux Champignons ; enfin en 1857, le comte de Limminghe publie une intéressante *Flore mycologique de Gentinnes*.

Pendant une dizaine d'années, la littérature sur ce sujet semble morte. Et pourtant, des mycologues, les uns dans la province de Liége, d'autres en Brabant, cherchent, récoltent et déterminent. De nouvelles flores, plus complètes et plus précises, ont paru, en France, en Angleterre, en Allemagne, et Saccardo publie les premiers tomes du *Sylloge Fungorum*. Jusqu'à cette époque, les gros Champignons charnus dominent dans toutes les flores. Le microscope s'étant sensiblement perfectionné, l'attention des chercheurs se porte maintenant aussi sur les Ascomycètes et sur une infinité de champignons microscopiques qui étaient ignorés. Anne Libert en avait récolté, mais n'avait pu les déterminer qu'imparfaitement. La mycologie est devenue une science précise.

En 1879, paraît le *Catalogue des champignons observés aux environs de Bruxelles*, de Mmes E. Bommer et M. Rousseaux. Ces deux amies, qui ont leur place au premier rang de nos mycologues, ont consacré la majeure partie de leurs loisirs à l'étude de nos Champignons. En 1886, elles publient *Contribution à la flore mycologique de Belgique*. Leur herbier est l'un des plus importants que nous ayons et s'étend à toutes les régions du pays. A la mort de Mme Bommer, il fut continué par Mme Rousseaux qui consacra toute la fin de sa vie à en faire la révision. En 1880, le Dr Lambotte nous donne une *Flore mycologique belge* ; en 1884, Elie Marchal se consacre aux *Champignons coprophiles de Belgique*. Les *Ascomycètes des environs de Liége* sont relevés d'une façon remarquable par V. Mouton de 1886 à 1900. F. Paque, jusqu'en 1909, publie *Recherches pour servir à la flore cryptogamique de Belgique*, listes d'espèces récoltées aux environs de Namur et d'Anvers. Nous avons encore en 1896 *Les champignons comestibles des environs de Namur*, par Bodart et *les Hyménomycètes de Bel-*

gique, de Vanderhaeghe. En 1901, F. Dierckx donne une note préliminaire, *Essai de révision du genre Penicillum*, travail qui est repris par F. Biourge qui poursuit actuellement l'étude monographique de ce genre et dont un fort bel ouvrage, *Les moisissures du genre Penicillum*, a paru en 1923. Ajoutons à ces principaux travaux les nombreuses notes et articles, parus dans nos périodiques, de MM. Bellynck, Beeli, Bommer, Cooman, Crépin, Delogne, De Wildeman, Lahay, Marchal, Martens, Naveau, Piré, Sternon, Verplanckx, Van Bambeke et nous pourrons nous faire une idée des divers matériaux accumulés depuis cent ans et dont la quintessence constitue nos connaissances actuelles sur nos richesses mycologiques.

Ces travaux, dont bon nombre mentionnent des espèces nouvelles, sont étayés par des herbiers importants. Pour ne citer que les principaux, nous avons à Bruxelles au Jardin Botanique, les herbiers Libert, Westendorp, Van Bastelaer, de Limminghe, Mouton, Bommer et Rousseaux ; à Gembloux, l'herbier de la Station phytopathologique de l'Etat, récolté principalement par Em. Marchal ; à Gand, les herbiers Van Bambeke et Kickx ; à Namur, au Collège de la Paix, celui du R. P. Paque ; à Anvers, celui de Naveau.

Etablissons le bilan de ces recherches et de ces récoltes d'un siècle. Le *Prodrome de la Flore belge*, de Durand et De Wildeman, nous donne un premier relevé général, de 5778 espèces. Depuis lors, aucun complément n'ayant été publié, les matériaux se sont accumulés. Je viens de faire le relevé des espèces nouvelles publiées depuis 1907, et de toutes celles qui ne figurent pas au Prodrome, mais qui se trouvent dans notre herbier national. MM. Marchal et Verplank ont bien voulu relever les espèces parasites. Nous arrivons ensemble à un total de onze cents espèces nouvelles. Ce qui porte le nombre des Champignons différents récoltés en Belgique à 7.000 environ.

Si nous comparons ce chiffre à celui des flores des pays voisins, nous trouvons, dans Constantin et Dufour, par exemple, 2.000 espèces d'Hyménomycètes. Les synopsis de nos Agaricacées et de plusieurs autres groupes d'Hyménomycètes que j'ai publiés au cours de ces dernières années, nous donnent un total en rapport avec ce chiffre. Par contre, les flores de l'Europe centrale sont plus riches. La partie consacrée aux Champignons par Migula dans *Flora von Deutschland*, de Thomé, relève en tout plus de 13.000 espèces.

Si nous considérons la distribution géographique des Champignons en Belgique, il est évident que les parties boisées du pays sont les plus riches. Ces plantes étant saprophytes ou parasites, le sol n'intervient dans leur répartition que d'une façon relative. Il y a pourtant des espèces typiques à certaines régions, aux régions sablonneuses par exemple.

Ce qui importerait pour pouvoir mieux définir notre flore, ce serait de multiplier les recherches dans les diverses parties du pays et d'en coordonner les résultats. Tous les spécimens sont les bienvenus au Jardin Botanique : nous faisons de notre mieux pour les déterminer le plus rapidement possible et pour les inclure dans l'herbier qui comporte déjà plus de 9.000 feuilles.

Avant de terminer cet aperçu mycologique, je voudrais vous rappeler qu'à côté de nos Champignons belges, nous avons aussi une flore fungique congolaise qui commence à marquer par son importance. C'est en 1894 que Em. Marchal publie les descriptions des premiers Champignons récoltés au Congo par Em. Laurent. Paraissent ensuite, de Laurent et de divers collecteurs, dans *La Mission Laurent* et dans *Notes de la flore du Bas et Moyen Congo*, de De Wildeman, 370 espèces, dont bon nombre de nouvelles, qui furent déterminées et décrites par des mycologues étrangers. En 1923, j'ai publié un relevé qui porte ce nombre à 593 espèces. Depuis, grâce au concours de quelques collecteurs, dont je citerai tout particulièrement le R. P. H. Vanderyst, le Dr Bequaert et Mme Goossens, nos collections se sont considérablement enrichies. Notre herbier congolais a une importance déjà de plus de 1.700 feuilles d'espèces déterminées, sans compter l'herbier de Mme Goossens qui, à lui seul, représente 916 types différents. Cette collection importante est d'autant plus remarquable, que chaque échantillon est accompagné de notes et d'aquarelles, dont quelques-unes sont exposées ici. C'est un monument unique et précieux pour la flore tropicale, particulièrement en ce qui concerne les Hyménomycètes. Un tel ensemble n'existe nulle part. Il serait glorieux pour nous d'être les premiers à publier cet important atlas des Hyménomycètes de l'Afrique tropicale. Ce serait le point de départ de notre Flore congolaise et un ouvrage d'utilité générale pour la Flore équatoriale.

En résumé, nous constatons avec plaisir que, tant au Congo qu'en Belgique, nous avons fait en Mycologie de sérieux et utiles progrès. Notre Flore mycologique est en grande partie constituée, il ne reste qu'à élargir et à coordonner les résultats acquis. Nous souhaitons que de nombreux mycologues suivent l'exemple de leurs devanciers et en continuent l'œuvre. Ils auront la satisfaction d'avoir collaboré selon leurs moyens à l'avancement des sciences de leur pays et ils jouiront du grand attrait que donnent de semblables études.

IV. — NOTE SUR LES LICHENS DE BELGIQUE

par Louis GILTAY

Conservateur adjoint au Musée Royal d'Histoire naturelle

On peut dire que l'étude des Lichens de la flore belge est loin d'être terminée. Aux quelque 476 espèces citées par le *Prodrome* (¹), il faut ajouter actuellement 107 espèces nouvelles pour la flore, dont quatre espèces nouvelles pour la science :

Thelidium spadanum B. de Lesd.
Lecidea spadana B. de Lesd.
Lecidea Harmandi B. de Lesd.
Psorotichia Tongleti B. de Lesd.

Ne sont pas comprises dans ces chiffres des variétés et des formes en nombre assez considérable, qui ont été découvertes également et dont certaines sont nouvelles. La connaissance plus approfondie des flores lichénologiques des pays voisins (²) fait prévoir pour la Belgique un accroissement encore bien plus important du nombre des espèces indigènes, notamment en ce qui concerne certaines familles (Verrucariaceae, Pyrenulaceae, Lecideaceae, Lecanoraceae, etc.) dont l'étude systématique permettra de combler d'importantes lacunes.

Faut-il rappeler ici que depuis près de trente ans les Lichens n'ont guère plus attiré l'attention des botanistes belges. La plupart des nouveautés signalées pour notre pays, l'ont été par notre éminent collègue de Dunkerque, M. le Dr Bouly de Lesdain (³) qui fit en Belgique quelques fructueuses excursions. Sa florule des environs de Spa, où il mentionne 166 espèces et 36 variétés et formes, montre ce qu'une exploration méthodique d'un espace restreint permet de découvrir. Comparons-y l'état de nos connaissances sur la répartition des Lichens dans nos différentes provinces, au moment de l'établissement du Prodrome :

(¹) E. De Wildeman et Th. Durand, *Prodrome de la Flore Belge* (3 vol., Bruxelles 1898-1907).
(²) J. Anders, *Die Strauch- und Laubflechten Mitteleuropas* (Iena, 1928).
J. Harmand, *Lichens de France* (5 vol., Paris, 1905-1913).
Lindau, *Die Flechten* (Berlin, 1913).
A. L. Smith, *A Monograph of the British Lichens* (2 vol., London, 1918-1926).
(³) Bouly de Lesdain, *Liste des Lichens de Spa* (*Bull. Soc. Bot. France*, **52**, 1-23. (1905). — *Lichens rares ou nouveaux pour la Belgique, recueillis pendant l'herborisation de la Société Royale de Botanique en Septembre 1906 (Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.*, **43**, 249-254 (1906). — *Lichens Belges rares ou nouveaux* (Ibid., **47**, 34-45 (1910).

Namur	326 espèces
Luxembourg	230 espèces
Brabant	184 espèces
Flandre orientale	157 espèces
Flandre occidentale	113 espèces
Hainaut	113 espèces
Liége	79 espèces
Anvers	53 espèces
Limbourg	20 espèces

Ce tableau est suffisamment éloquent. Il indique le travail floristique qui reste à faire.

En dehors de certaines espèces exclusivement calcicoles ou silicicoles, la plupart des Lichens de notre pays peuvent avoir un habitat assez varié (*Xanthoria parietina*). Mais par leurs multiples réactions vis-à-vis du milieu, en tant que « formes » ou « variétés », les Lichens constituent un excellent élément éthologique pour caractériser un *biotope réduit* (Galloe, Lotsy, Sandstede, Tobler). Certaines espèces de *Cladonia* notamment, grâce à leur polymorphisme, permettent de suivre, dans une région déterminée (bruyère, pineraie, etc.), les modifications les plus insensibles du milieu (état hygrométrique, éclairage, climat, nature du sol, etc.). Les différentes causes extérieures amenant une modification dans l'aspect morphologique d'une espèce doivent du reste être soigneusement analysées. Leur étude permet souvent de tirer d'intéressantes conclusions d'ordre physiologique quant à la croissance, l'assimilation, etc.

Notons ici certaines associations lichénologiques dont le biotope est particulier et dont l'étude devrait être entreprise chez nous.

1° *Les Lichens aquatiques torrenticoles :*

Les espèces d'un même genre varient suivant le degré de constance dans l'immersion ou suivant leur degré de rhéophilie (4) :

Exemple :

a) Espèces toujours submergées : *Dermatocarpon aquaticum* ;

b) Espèces souvent submergées mais supportant une dessiccation temporaire, *Dermatocarpon miniatum* var. *complicatum*,

c) Espèces parfois submergées mais végétant normalement hors de l'eau, *Dermatocarpon lachneum*, *Dermatocarpon hepaticum*.

2° *Les Lichens marins ou maritimes :*

Les espèces sont caractéristiques pour les différentes zones éthologiques envisagées, depuis la zone du balancement des marées jusqu'aux dunes ou au polder (Hayren, Sernander, Galloe, Bouly de Lesdain).

(4) W. Watson, *The Bryophytes and the Lichens of fresh Water* (*Journ. of Ecology*, 7, 71-83 [1919]).

3° *Les Lichens bryophiles.*

Attirons également l'attention sur l'étude importante et presque nulle en Belgique des *parasites* des Lichens et des Lichens parasites ([5]).

Mais avant tout, il serait souhaitable de voir reparaître un catalogue complet des espèces de Lichens observés en Belgique.

Depuis la publication du Prodrome, l'étude systématique des Lichens a fait de très sensibles progrès qui ont, dans une très large mesure, modifié leur nomenclature ou leur classement. De nombreuses espèces ont été mises en synonymie, de nouvelles espèces ont été décrites ou bien d'autres encore ont été rangées dans des genres ou des familles différentes.

Tout en tenant compte de monographies partielles, il faudrait, dans un ordre pratique, baser la revision de notre flore sur une classification généralement adoptée, notamment celle de Zahlbrückner ([6]).

Si l'on semble d'accord sur l'origine polyphylétique des Lichens (Wettstein, Tobler, Choisy), il serait utile, dans un but pratique, de laisser, dans un catalogue floristique, les Lichens réunis en un ensemble et de ne pas les disperser parmi les différentes familles d'Ascomycètes. Par leur mode de conservation et leur réunion en collections distinctes, par les méthodes d'investigation utilisées pour leur étude, les Lichens, quoique réalisant une unité systématique *artificielle*, ont intérêt à rester groupés, aussi bien pour la facilité des lichénologues que pour les recherches d'ordre éthologique ou géobotanique.

([5]) K. Keiszler, *Die Flechtenparasiten* (Leipzig, 1930).

([6]) Zahlbruckner, *Lichenes* (in Engler und Prantl, Die Naturl. Pflanzenfamilien, etc., **1**, Abt., 1°, [1907]).

V. — LES PROGRÈS DE LA BRYOLOGIE EN BELGIQUE DEPUIS 1899

par R. NAVEAU,

Directeur du Jardin Botanique d'Anvers.

Depuis la publication de la partie bryologique du *Prodrome de la Flore belge* par DURAND et DE WILDEMAN, la littérature bryologique s'est enrichie d'un assez grand nombre de mémoires et florules locales, à côté des travaux remarquables de El. et Em. Marchal sur la sexualité chez les Mousses.

Nous remarquons particulièrement au point de vue systématique la Flore des Hépatiques de Belgique par A. Mansion, qui a paru en 1905-1908, et la publication d'une partie des Muscinées de l'herbier belge du Jardin botanique de l'Etat par H. Van den Broeck en 1914.

L'historique des recherches bryologiques a été publié par El. MARCHAL dans le *Bulletin de la Société Royale*, tome 52, p. 144 (1913). Nous y trouvons le tableau statistique de la flore bryologique belge suivant :

	Belg.	Anv.	Bt.	F. oc.	F. or.	Ht.	Lg.	Lb.	Lux.	Nam.
I. Espèces signalées en Belgique jusqu'en 1899 .	582	244	305	130	212	238	478	135	441	419
II. Accroissements de 1899 à 1912 .	48	37	23	23	30	4	66	85	19	61
III. Espèces signalées en Belgique jusqu'en 1912 .	630	281	328	153	242	242	544	220	460	480

La mort d'Arthur Mansion a failli entraîner celle de l'étude des Mousses en Belgique. Le grand essor qu'il avait donné à cette partie de la botanique; difficile entre toutes, s'est arrêté avec la disparition prématurée de ce savant chercheur.

La bryologie a continué à exister dans notre pays grâce aux études d'un certain nombre de botanistes explorant diverses contrées du pays. Parmi eux, nous mentionnons seulement les trois principaux, notamment : El. Marchal dans la province de Namur ; H. Van den Broek, qui durant un demi-siècle a établi la flore des Muscinées de la Campine anversoise, et A. Cornet de Juslenville qui a encore su faire de remarquables trouvailles dans la province de Liége.

Nous nous occupons à faire le relevé des Muscinées nouvelles depuis

la publication du Prodrome et nous prévoyons que celui-ci atteindra probablement soixante-douze espèces, réparties comme suit dans nos différentes provinces.

Anv.	Brab.	F. Occ.	Lg.	Limb.	Lux.	Nam.
7	2	1	43	2	11	18

Pour les Sphaignes seules, qui étaient au nombre de 28 en 1899, il y aura un accroissement de onze espèces.

L'étude des variations des Mousses en général nous donne, depuis environ trente ans, un accroissement de plus de 400 variétés et formes nouvelles pour le pays. Ce chiffre nous permet d'admettre que nos connaissances bryogéographiques se sont accrues sensiblement pendant cette période. Faisant le relevé des nouvelles espèces de chaque province, nous obtenons la statistique suivante :

Anv.	Brab.	F. Occ.	F. Or.	Ht.	Lg.	Limb.	Lx.	Nam.
54	30	26	32	12	70	114	30	68

Le chiffre total des Mousses connues comme indigènes en Belgique s'élève, en 1930, à 654 espèces, 488 variétés, 148 formes et 31 sous-formes. Si, d'un côté, nous pouvons enregistrer une augmentation du nombre, il nous faut déplorer d'un autre côté l'appauvrissement rapide de la flore bryologique belge. Nous constatons avec amertume que notre patrimoine bryologique perd de plus en plus les espèces rares du siècle passé et plusieurs espèces, qui, à l'époque où nous faisions nos premières herborisations bryologiques, étaient considérées comme assez fréquentes ne le sont plus du tout. La destruction par l'agriculture et l'industrie des sites floristiques les plus intéressants s'accélère avec une activité digne d'une cause meilleure et aura pour conséquence prochaine la destruction du dernier représentant de mainte espèce intéressante.

RELEVÉ DES PUBLICATIONS BRYOLOGIQUES PRINCIPALES PARUES EN BELGIQUE DEPUIS 1899

N.-B. — Quand le titre de la revue n'est pas mentionné, il s'agit du *Bulletin de la Société royale de Botanique de Belgique.*

A. Mansion, *Contributions à l'étude de la flore bryologique belge*, **38**, 228 (1899).

A. Cornet, *Contributions à la flore bryologique de Belgique. (Bulletin du Cercle des Naturalistes hutois*, 3-4, [1901-02]).

A. MANSION, *Compte rendu de l'excursion bryologique du 11 octobre 1903 à Weert Saint-Georges et Nethen.*

A. CORNET, *Trois mousses nouvelles pour la flore belge :* Pterygoneurum lamellatum *Jur. ;* Dicranum Blyttii *B. et S. ;* Plagiothecium curvifolium *Schlieph.* **41**, 2e part., 143-144, (1904).

M. HALIN, *Découverte du* Breutelia arcuata *Sch. en Belgique*, **41**, 188-189 (1904).

A. MANSION, *L'état des études bryologiques en Belgique et le rôle de la Section bryologique belge*, **41**, 80-99 (1904).
IDEM, *Les Muscinées du Limbourg*, **41**, 145-157 (1904).

MANSION et C. SLADDEN, *Note sur le* Rhacomitrium sudeticum *Br. eur.* **41**, 48-52 (1904).
IDEM, *Note sur le* Grimmia atrata *Mielich. et Hornsch.*, **41**, 52-55 (1904).
IDEM, *Quelques mots de géobryologie*, **41**, 180-182 (1904).
IDEM, *Note sur deux Hépatiques nouvelles pour la flore belge ;* Riccia sorocarpa *Bisch. et* Fossombronia angulosa *Raddi*, **41**, 185-188 (1904).

SECTION BRYOLOGIQUE, *Dispositions réglementaires de la Section bryologique*, **41**, 2e part., 114-115 (1904).
IDEM, *1re liste des membres*, **41**, 2e part., 116-117 (1904).

H. VAN DEN BROECK, *Compte rendu de la deuxième herborisation de la Section de Bryologie (Campine anversoise)*, **41**, 2e part., 165-170 (1904).

J. CARDOT, *Quelques mousses nouvelles pour la flore belge*, **42**, 2e part., 8-13 (1905).

A. CORNET, *Contribution à la flore bryologique de Belgique*, 3e liste, **42**, 2e part., 71-76 (1905).
IDEM, *Contribution à la flore bryol. de Belgique*, 4e liste, **42**, 2e part., 200-206 (1905).
IDEM, *Compte rendu de l'herborisation de la Section bryologique à Juslenville*, **42**, 2e part., 175-177 (1905).

A. MANSION, *Flore des Hépatiques de Belgique*, **42**, 1re part., 44-112 (1904-1905).
IDEM, *Bilan de l'année bryologique belge*, **42**, 2e part., 24-37 (1905).
IDEM, *Note sur le* Pterygoneurum lamellatum *Eur.*, **42**, 2e part., 61-63 (1905).
IDEM, *Note sur le* Liochlaena lanceolata *Nees.*, **42**, 2e part., 63-65 (1905).
IDEM, *Note sur le* Fossombronia caespitiformis *De Not.*, **42**, 2e part., 65, (1905).
IDEM, *Note sur le* Breutelia arcuata *Schimp.*, **42**, 2e part., 66-68 (1905).
IDEM, *Note sur le* Dicranum Blyttii *Br. Eur.*, **42**, 2e part., 68-71 (1905).
IDEM, *Note sur deux variétés de Muscinées nouvelles pour la Belgique :* Hypnum molluscum *Hedw. var.* squarrosulum *Boul.* et Plagiothecium denticulatum *B. et S. var. ;* aptychus *Spruce*, **42**, 2e part., 99-101 (1905).
IDEM, *Note sur le* Platygyrium repens *Br. Eur.*, **42**, 2e part., 105-108 (1905).
IDEM, *Note sur le* Fontinalis dalecarlica *Br. Eur.*, **42**, 2e part., 108-110 (1905).
A. MANSION, *Compte rendu de l'excursion bryologique à Pécrot et à Florival*, **42**, 2e part., 110-113 (1905).

E. MARCHAL, *Recherches sur la reproduction asexuelle et la régénération chez certaines Jungermanniacées*, **42**, 2e part., 7-8 (1905).

A. MANSION et C. SLADDEN, *Note sur le* Jungermannia cordifolia *Hook*, **42**, 2e part., 59-60 (1905).
IDEM, *Note sur le* Grimmia Doniana *Sm.*, **42**, 2e part., 110-113 (1905).
IDEM, *Note sur le* Byrum obconicum Hornsch, **42**, 2e part., 103-105 (1905).

J. MASSART, *Les Muscinées du littoral belge*, **42**, 2e part., 141-162 (1905).

A. PETERS, *Compte rendu de l'excursion de la section bryologique à Bauche et Dorinne*, **42**, 2e part., 80-83 (1905).

H. Van den Broeck, *Catalogue des Plantes observées aux environs d'Anvers*, 3e supplément, **42**, 2e part., 13-22 (1905).

A. Cornet, *Le* Scapania aspera *H. Bern. en Belgique*, **43**, 229-230 (1906).

E. et Em. Marchal, *Recherches physiologiques sur l'amidon chez les Bryophytes.* **43**, 115-214 (1906).

A. Cornet, *Contributions à la flore bryologique de la Belgique.* **44**, 161-166 (1907).

J. Massart, *Essai de géographie botanique des districts littoraux et alluviaux de la Belgique*, **44**, 1re part., 59-129 (1907) ; 2e part., 192-269 (1907).

E. Paque, *Nouvelles recherches pour servir à la flore cryptogamique de la Belgique.* **44**, 2e part., 282-296 (1907).

E. et Em. Marchal, *Aposporie et sexualité chez les Mousses*, **44**, 395 (1907). — *Bulletin de l'Académie des Sciences* n° 12 (1909), nos 9 et 10 (1911).

Idem, *Recherches expérimentales sur la sexualité des spores chez les Mousses dioïques.* (*Bulletin de l'Académie des Sciences*, n° 7 [1907]).

A. Cornet, Bryum fallax *Milde*, **45**, 334 (1908)

Idem, Webera Rothii *Correns*, **45**, 341 (1908).

Idem, Lophozia badensis *(Gott.) Schiffn.*, **45**, 342 (1908).

A. Mansion, *Flore des Hépatiques de Belgique*, 2e fascicule, **45**, 29 (1908).

H. Van den Broeck, *Les Sphaignes de la Campine anversoise*, **45**, 365 (1908).

Idem, *Les Mousses de la Section* Harpidium *des environs d'Anvers*, **46**, 330 (1909).

M. Bouly de Lesdain, *Une mousse nouvelle pour la Belgique :* Fontinalis dubia *Card.*, **47**, 153 (1910).

A. Cornet, *Contribution à la flore bryologique de Belgique*, 6e liste, **47**, 291-296 (1910).

Em. Marchal, *La Sexualité chez les Mousses*, **47**, 277-285 (1910).

R. Naveau, *Le* Sphagnum subtile *(Russ.), Wtf.*, **48**, 20-22 (1911).

H. Van den Broeck, *Notice sur la découverte en Campine du* Fissidens bryoïdes *Hdw., mousse nouvelle pour la flore belge.* **48**, 233-234 (1911).

A. Cornet, *Découverte du* Weisia crispata *(Bryol. germ.) Jur. en Belgique*, **49**, 18 (1912).

Em. Marchal, *Recherches cytologiques sur le genre* Amblystegium, Vol. jubilaire, **51**, 184 (1912).

H. Van den Broeck, Les Muscinées de l'herbier belge du Jardin Botanique de l'Etat à Bruxelles : *Bulletin du Jard. bot. de l'Etat à Brux.*, (juin 1914).

Idem, *Note sur la découverte en Belgique de l'*Anomodon apicultus *Br. Eur.*, **55**, 28 (1923).

Idem, *Note sur la découverte en Belgique de l'*Anomodon apiculatus *Br. Eur.*, **55**, *Br. et Ch.*, **55**, 57 (1923).

A. Cornet, *Sur une forme polygame du* Fissidens rufulus *Br. Eur.*, **55**, 71 (1923).

H. Van den Broeck, *Catalogue des plantes observées dans les environs d'Anvers*, 4e supplément. **56**, 27 (1924).

J. Hennen, *Le Witven*, **56**, 51 (1924).

J. Hennen, *A propos de* Desmatodon cernuus *Br. Eur.*, **56**, 164, (1924).

R. Naveau, *Note sur la distribution de certains cryptogames*, **56**, 185 (1924).

H. Van den Broeck, *Note sur la découverte de* Barbula inermis *C. Müll., mousse nouvelle pour la flore belge*, **57**, 107 (1925)

A. Cornet, *Note sur la découverte de* Barbula inermis *C. Müll., en Belgique*, **58**, 2e série, 8 (1926).

Idem, *Note sur une mousse nouvelle pour la Belgique*, **58**, 2e série, 27 (1926).

Idem, *Les* Cynodontium B. S. *de Spa*, **58**, 2e série, 101-102 (1926).

H. Van den Broeck, *Muscinées nouvelles pour la flore belge et habitations nouvelles*, **58**, 2e série, 226-230 (1926).

LA PHYTOGÉOGRAPHIE EN BELGIQUE DEPUIS 1830 JUSQU'À NOS JOURS

par Paul VAN OYE,

Professeur à l'Université de Gand.

Déjà en 1873 le savant botaniste François Crépin donna dans l'ouvrage *Patria Belgica* édité par Van Bemmel, une description de la géographie botanique de la Belgique. A peine cinq ans plus tard, en 1878, dans son *Guide du Botaniste en Belgique*, il a développé ce sujet d'une façon presque parfaite. Depuis 1873, date à laquelle Crépin donna sa division phytogéographique de la Belgique, il n'a été apporté qu'un seul changement important au travail de ce savant. Dès la première édition (1860) jusqu'à la cinquième et dernière édition, parue en 1884, du *Manuel de la flore de Belgique*, l'auteur a donné dans ce travail un aperçu des « Divisions géographico-botaniques de la Belgique » en ajoutant une carte botanique de notre pays. C'est donc, depuis 1860, que la division de la Belgique au point de vue phytogéographique fut faite, et cela d'une façon quasi définitive.

Dans son *Guide du Botaniste en Belgique*, Crépin termine son chapitre sur la phytogéographie par le paragraphe intitulé : « Quelques remarques sur l'étude approfondie de la géographie botanique de la Belgique », où il expose ce qui reste encore à faire, d'après les idées régnantes en botanique à cette époque. Il démontrait déjà en 1873 (*Patria Belgica*) que la distribution de nos plantes dépend principalement de la nature minéralogique du sol et de son élévation au-dessus du niveau de la mer.

Pour bien se rendre compte de la grande valeur du travail de Crépin, il faut se rappeler que la conception de la science que nous appelons aujourd'hui la phytogéographie, date seulement de 1805, date à laquelle Alexandre von Humboldt fit paraître son mémoire *Sur la géographie botanique des plantes*. Ce n'est qu'en 1855 qu'Alphonse de Candolle publia son grand travail *Géographie botanique raisonnée* et en 1872, donc une année avant le travail de Crépin, que Grisebach fit paraître son ouvrage : *Die Vegetation der Erde*. Tous ces travaux sont d'ordre purement floristique et il faut attendre jusqu'en 1898, l'apparition du traité de Schimper, *Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage*, pour voir surgir une nouvelle tendance dans la phytogéographie. Notons donc que Crépin a fait une œuvre magistrale et, à un seul détail près, définitive.

Une seconde date mémorable dans l'histoire de la botanique de nos régions est l'année 1894, quand parut dans le *Botanisch Jaarboek* le grand travail de Julius Mac Leod, à ce moment professeur à l'Université de Gand. Cet ouvrage porte comme titre : *Over de bevruchting der bloemen in het*

Kempisch gedeelte van Vlaanderen. Dans l'un de ses chapitres (pages 381-418), cet auteur résume les observations géobotaniques auxquelles il avait été amené pendant le courant de ses études sur la fécondation des fleurs de la zone actuellement appelée *flandrienne.* Ces pages sont sans doute les plus importantes de ce travail.

Mac Leod n'examine pas le district campinien de Crépin, mais seulement la partie flandrienne qui, comme il le dit, a subi depuis des siècles l'influence de l'homme. Il ne considère pas seulement l'influence consciente de celui-ci, mais aussi son influence inconsciente et prouve que la flore de cette contrée a changé complètement de caractère sous son influence. Il met en lumière qu'il faut envisager en phytogéographie le sol, le climat et l'action de l'homme, et que l'ensemble de ces trois facteurs peut créer des conditions nouvelles d'existence. Pour la première fois en Belgique, on fait de la géographie botanique écologique, et cela quatre ans avant l'ouvrage de Warming : *Lehrbuch der oecologischen Pflanzengeographie.* Le chapitre dont je parle est sans égal dans notre littérature géobotanique. Malheureusement il a paru dans un ouvrage de plus de 680 pages. Est-ce pour cela qu'il n'a pas attiré l'attention des botanistes ? Nous l'ignorons.

L'auteur insiste surtout sur l'adaptation des plantes aux travaux des champs et il prouve que beaucoup d'entre elles ont su modifier leur vie de telle façon que leur cycle d'évolution s'engrène avec les travaux de l'agriculture. Il étudie d'autre part la vie des plantes par rapport aux réserves dont elles disposent, et ce n'est que dix ans plus tard que C. Raunkiaer publia son travail intitulé : *Types biologiques pour la géographie botanique,* qui n'est autre chose que le développement détaillé de l'idée de Mac Leod sur les capitalistes et les prolétaires dans le règne végétal. Loin de moi cependant, l'idée de vouloir disputer à Raunkiaer tout le mérite de son travail. En effet, Mac Leod ne s'est occupé que de la flore de la zone flandrienne, et, il faut l'avouer, il a employé des termes à tendance trop spéciale pour être employés dans une science complètement indépendante de la sociologie humaine. Les types de Raunkiaer sont et doivent rester sans la moindre restriction la propriété de cet auteur, mais pour nous, et à l'occasion qui nous réunit aujourd'hui, il est cependant agréable de remarquer que le principe du travail de Raunkiaer avait déjà été énoncé dix ans auparavant par notre illustre botaniste Mac Leod.

Nous pouvons donc résumer en disant qu'en 1894 la phytogéographie de la Belgique a subi la seule grande modification importante depuis le travail de Crépin, notamment la subdivision de la zone campinienne en une zone flandrienne à l'ouest et une zone campinienne à l'est [1].

Nous arrivons maintenant aux années 1900-1910, période pendant

[1] M. Lameere est d'un autre avis. Après de longues recherches, j'ai trouvé l'opuscule de Quaedvlieg sur lequel est basée son opinion. La lecture attentive de la partie qui nous intéresse ne m'a pas fait changer d'avis. Je compte revenir sur ce sujet.

laquelle trois savants belges se sont surtout distingués dans le domaine qui nous occupe : Camille De Bruyne, Jean Massart et Léon Frédéricq. Le premier s'est surtout occupé de la flore des dunes, sur laquelle il fit paraître successivement une série de travaux qui se distinguent par leur tendance biologique et écologique. L'auteur y fait l'analyse de plusieurs problèmes et fait ressortir entre autres la succession des différents stades dans l'évolution de la végétation des dunes. Les idées émises dans ces travaux sont, à peu de choses près, reconnues comme exactes et admises par tout le monde aujourd'hui. Pour ce qui concerne les dunes, à la suite des travaux de De Bruyne et de Massart dont je parlerai encore plus loin, on peut dire que le sujet a été épuisé, pour autant que nous n'envisageons que le côté floristique et écologique pur. Si De Bruyne s'est borné à la biologie végétale des dunes, Massart a envisagé en même temps la végétation des districts littoraux et alluviaux et nous a donné une étude complète de ces zones.

Enfin MASSART est l'auteur du travail d'ensemble : *Esquisse de la géographie botanique de la Belgique*, paru en 1910. Dans ce travail, le premier, depuis l'œuvre de Crépin, qui envisage le pays tout entier, Massart introduit définitivement la correction faite par Mac Leod et nomme district flandrien la partie ouest du district campinien de Crépin, et ne garde le nom de district campinien qu'à la partie orientale.

Vers la même époque, Léon Frédéricq fait paraître une étude approfondie de la flore et de la faune de la Baraque Michel et démontre le caractère subalpin de cette zone. L'étude de Pacque est venue compléter au point de vue botanique l'étude magistrale de Léon Frédéricq, et nous pouvons dire que cette partie de notre pays nous est bien connue au point de vue phytogéographique. Dans le Jura, Verhulst a travaillé pendant des années avec une assiduité sans égale, et cette zone nous est aussi complètement connue.

Un ouvrage de la plus grande importance et résumant toutes nos connaissances floristiques, aussi bien des Phanérogames que des Cryptogames parut pendant les années 1900-1907 : c'est le *Prodrome de la Flore belge* par E. DE WILDEMAN et Th. DURAND.

En parcourant maintenant les résultats obtenus au point de vue floristique et écologique pur, nous devons reconnaître que bien des parties de notre pays demandent encore à être étudiées d'une façon plus approfondie. Pour ce qui concerne les Cryptogames, J. KICKX a fait paraître sa *Flore cryptogamique des Flandres*. Malheureusement pour cet auteur la systématique de ces groupes a fait de si grands progrès, que presque toute la nomenclature et toutes les divisions ont dû être remaniées, ce qui rend l'emploi de ce travail très difficile. Pour l'ensemble des Cryptogames, il faut bien l'avouer, tout reste encore à faire. Seules les Algues ont déjà été l'objet d'études d'ordre phytogéographique pur.

Nous possédons sur les Algues belges une flore alguologique de notre savant collègue De Wildeman. Cette flore, malheureusement, date de 1894, date à laquelle la connaissance des Algues était encore peu avancée et où les différents chercheurs ne disposaient pas encore des beaux travaux qui sont actuellement à notre disposition pour la détermination de ces plantes.

Néanmoins, de Wildeman a fait une œuvre d'une grande valeur et qui jusqu'aujourd'hui reste la base de tous nos travaux sur la distribution des Algues dans notre pays.

Mais si l'on veut tenir compte des exigences de la phytogéographie moderne, tout est encore à faire. La raison en est bien simple : ces plantes demandent des méthodes d'examen ressortissant souvent d'autres domaines.

Ainsi, Mme J. Schouteden-Wéry nous a donné en 1909 deux études approfondies sur la distribution des Algues du Veurne-Ambacht. L'une, intitulée : *Over de verdeeling der Algen in het Veurne-Ambacht*, l'autre portant comme titre : *Quelques recherches sur les facteurs qui règlent la distribution des Algues dans le Veurne-Ambacht.* Dans ces travaux très importants au point de vue purement floristique, l'auteur n'arrive malheureusement pas au but qu'elle s'est proposé et cela pour une raison absolument indépendante de sa volonté, notamment parce que l'influence du degré d'acidité était à ce moment un facteur dont on ignorait complètement l'importance. Au point de vue floristique encore, Kufferath nous a donné des travaux importants sur les Algues du Luxembourg.

Enfin, pour terminer, je dois dire quelques mots d'un travail qui est en préparation pour le moment à Gand, c'est-à-dire une étude sur la flore algologique du Kraenepoel. Cette étude fait partie d'une série de travaux sur la distribution des Algues dans notre pays.

Si, comme je l'ai dit plus haut, Mme Schouteden pour des raisons indépendantes de sa volonté n'est pas parvenue à un résultat positif dans son étude sur le Veurne-Ambacht, nous pouvons dire qu'aujourd'hui, grâce aux méthodes que les chimistes ont mises à notre disposition, nous arrivons à des résultats absolument certains. Pour le Kraenepoel, un des derniers vestiges de la flore campinienne dans le district flandrien, nous pouvons suivre la lutte des grandes formes de Desmidiées contre les influences extérieures qui transforment lentement cette mare campinienne en une mare flandrienne, pour aboutir à une flore flandrienne où tout indice de l'ancienne flore campinienne, même pour ce qui concerne les Algues, aura disparu.

Si nous pouvons dire non sans fierté que la phytogéographie en Belgique a fait de grands progrès depuis Crépin, il convient cependant de rappeler les paroles par lesquelles cet auteur terminait le chapitre sur la géographie botanique de la Belgique :

« L'étude approfondie de notre géographie botanique est loin d'être achevée ; elle offre encore un grand nombre de faits à établir ou à élucider. Nous ferons remarquer, en outre, que la plupart de nos Cryptogames n'ont pas fait l'objet de recherches spéciales et qu'elles sont encore à étudier au point de vue qui nous occupe. » Ces paroles écrites en 1878 par le plus grand phytogéographe belge ont conservé toute leur valeur en 1930 !

L'HYMENOPHYLLUM ET SES CONDITIONS DE VIE

par le Dr KLEIN,

Président de l'Institut Grand-Ducal du Luxembourg.

La Fougère tropicale *Hymenophyllum tunbridgense* (L) Sm. se rencontre au Grand-Duché dans la région du grès infraliasique nommé grès de Luxembourg. La plante y vit attachée aux murailles verticales des fentes dites « gorges », appelées par les indigènes « Schloeff », et elle y forme des touffes assez larges et d'une verdure luxuriante.

En 1821, Dumortier, le botaniste belge bien connu, fit la découverte de ce bijou floristique aux environs de Beaufort, et, en 1873, le garde général Holtz le signala en une autre station, alors que la trouvaille de Dumortier était complètement oubliée. Depuis, avec mes collègues et élèves, j'ai noté une quarantaine d'endroits presque tous réunis dans un domaine relativement restreint, et présentant, dans les grandes lignes, des conditions de végétation identiques.

Comme la plante prospère normalement en ces lieux et y produit des sporanges dont les spores germent facilement, on est en droit d'admettre qu'elle n'éprouve chez nous, fort loin de son aire naturelle de dispersion, aucune diminution appréciable de sa vitalité. Je poursuis sur place, depuis une vingtaine d'années, l'étude des conditions d'existence de l'*Hymenophyllum* et suis parvenu aux résultats suivants. Il est difficile de décider à quel point les conditions d'ordre physique et chimique du terrain interviennent dans le développement de l'espèce. Autrefois, l'on croyait pouvoir plus ou moins ignorer ces facteurs, car on admettait que la plante n'avait pas de racines propres pour exploiter son milieu édaphique, auquel elle n'aurait demandé que l'espace pour s'y attacher. Pourtant le professeur Assa, de Luxembourg, a reconnu la présence de racines qui sont surtout caractérisées par le développement d'un endoderme perforé de nombreuses cellules de passage. Les facteurs biologiques sont manifestement sans aucune importance. En effet, la collection d'espèces accompagnant ordinairement l'*Hymenophyllum* varie sensiblement de place en place. Même le Lichen *Sphaerophorus coralloïdes* Pers., dont on a dit qu'il lui était toujours associé, manque souvent et se trouve par contre ailleurs sans la Fougère, très bien développé.

Restent donc uniquement les influences climatologiques. La température est très constante dans les gorges et ne varie qu'à de longs intervalles. La neige y fond tard et fournit aux touffes une couverture efficace

contre les assauts du froid. Le degré hygrométrique de l'atmosphère des gorges semble jouer une certain rôle ; sa constance est grande, mais pourtant la Fougère ne végète jamais sur les deux flancs du même couloir et elle préfère, presque sans exception, la face protégée contre les atteintes des vents secs par la muraille opposée, donc les flancs tournés vers l'E., le S.-E., et le S. L'exposition au S.-E. est de beaucoup la plus fréquente. Quant à l'illumination, j'ai fait de nombreuses mesures au moyen du photomètre de Eder-Hecht pour arriver finalement à la conclusion, inattendue sans doute, que, comme telle, la lumière qui frappe les gazons d'*Hymenophyllum* importe peu. L'espèce, en effet, ne souffre pas d'un éclairement en plein soleil pendant deux heures et se maintient, par contre, également en bonne santé dans des fentes relativement obscures. Dans les derniers temps, je suis arrivé à constater que la plante supporte très mal la lumière filtrée à travers le feuillage d'autres plantes, même si celle-ci est encore assez intense. Elle ne vient jamais à l'ombre que jettent les arbres ; elle ne prospère pas et disparaît même peu à peu quand les feuilles se développent progressivement au-dessus d'elle, sans que l'ombre soit plus profonde que celle de certaines gorges où pourtant la fougère se trouve à l'aise. Deux lumières donc, qui accusent au photomètre la même intensité, sont à l'égard de notre plante d'un effet physiologique très différent, et celle qui a été tamisée à travers le feuillage exerce à peu près la même action qu'une ombre assez épaisse.

Il semble donc que l'on puisse comparer le cas de l'*Hymenophyllum* à celui de certaines plantes qui, chez nous, recherchent l'ombre, mais qui, plus au nord ou à une altitude plus considérable, demandent une lumière relativement plus forte, comme *Anemone nemorosa, Scilla bifolia, Corydalis cava*, auxquelles s'ajoutent quelques arbres, tels les Erables et les Sorbiers. J'en déduis que l'*Hymenophyllum* est à même de se maintenir dans notre climat, quand il arrive à jouir d'un éclairage convenable, dont il emploie, à se chauffer les radiations que n'utilise pas le travail assimilateur. Dans les régions tropicales, les Hyménophyllacées croissent à l'ombre des arbres parce que l'air, même obscurci, leur garantit un échauffement suffisant. Chez nous, au contraire, la Fougère réclame une illumination plus intense et exige des rayons n'ayant pas encore passé à travers d'autres organes verts [1].

---

[1] A la suite de sa communication, M. Klein fait circuler des photographies et des échantillons séchés de l'*Hymenophyllum tunbridgense* et invite les assistants à venir étudier et examiner la plante sous sa conduite, dans son habitat naturel.

A PROPOS DE LA « BRÛLURE » DU LIN

par É. MARCHAL,

Directeur de la Station de Phytopathologie de l'Etat, Gembloux.

En 1901, je crois avoir établi que l'affection du Lin que nos cultivateurs des Flandres désignent sous le nom de « brûlures » est due au parasitisme d'un Chytridinée, *Asterocystis radicis* de Wild. (1). Mlle C.-J. BUISMAN, en 1927 (2), et surtout Mlle Jikke H.-H. VAN DER MEER, en 1928 (3) ont publié, en Hollande, d'intéressants travaux qui mettent en doute cette opinion et d'après lesquels la « brûlure » du Lin serait due avant tout à l'intervention d'une Péronosporacée, *Pythium megalacanthum* de Bary.

En vue d'élucider cette controverse, tout au moins apparente, je me suis déjà, l'an dernier, mis à la recherche de cas de brûlure dans les linières des Flandres. M. l'agronome principal de l'Etat, É. Van Goitsenhoven, voulut bien me prêter, en cette circonstance, une collaboration pour laquelle je tiens à lui exprimer ici toute ma reconnaissance. Mais, malgré nos recherches, nous n'arrivâmes pas à trouver des cas de brûlure bien typique.

Dans de jeunes lins d'aspect maladif se développant à Couckelaere (Fl. occidentale), dans un champ pour le reste normal, au niveau des endroits où l'on avait antérieurement effectué des dépôts de chaux, j'ai trouvé dans les racines qui présentaient un aspect vitreux très marqué, les sporanges échinulés caractéristiques du *Pythium megalacanthum*, Champignon que j'ai réussi à conserver ultérieurement en culture. L'*Asterocystis* en était absent et je ne l'ai trouvé l'an dernier — et ce, en très petite quantité seulement — que sur des lins à peu près normaux, récoltés à Thourout.

J'attribue l'absence de brûlure typique en 1929 à la période de sécheresse qui a régné après la levée du Lin, moment critique pour l'infection.

Ce printemps, des cas de brûlure typique m'ayant été signalés, dans les environs de Courtrai, par M. le secrétaire de la Fédération des Rouisseurs-teilleurs de lin de Belgique, mon assistant, M. G. Verplancke, s'est rendu le 28 mai dernier à Gulleghem et y a prélevé des échantillons copieux de plantules malades, arrachées avec soin et encore pourvues d'une bonne partie de leurs fines radicelles.

C'est le résultat de l'étude de ces matériaux et de quelques autres dont je voudrais rendre compte ici.

Les plantules de lin prélevées à Gulleghem présentaient de la façon la plus nette les symptômes de la brûlure, telle qu'elle est connue depuis un temps immémorial de nos cultivateurs flamands : extrémité de la tige flasque, feuilles, surtout les inférieures, jaunies, racines principales normales, fines ramifications un peu vitreuses et facilement amputables.

L'examen microscopique d'une cinquantaine de plantules malades de cette origine, montre d'une façon constante, à la base des poils radiculaires, dans les cellules de l'assise pilifère et des éléments parenchymateux sous-jacents, de nombreuses spores durables caractéristiques de l'*Asterocystis*. Les sporanges sont déjà rares, la période de multiplication intensive du parasite étant déjà terminée. Dans aucun des échantillons, je n'observe les organes reproducteurs échinulés, caractéristiques du *Pythium megalacanthum*.

De plus, la mise en culture sur mout de bière gélatinisé de radicelles soigneusement aseptisées extérieurement par des passages répétés dans de l'eau stérilisée, n'a mis en évidence aucun organisme susceptible d'être l'agent étiologique de l'état pathologique observé. Dans un cas on observe un mycélium qui est resté, jusqu'ici, stérile en culture, et que j'attribue à un Rhizoctone (*Hypochnus*).

Dans trois autres échantillons de Lin « brûlés », que je dois à l'obligeance de M. l'agronome principal Van Goidtsenhoven, et prélevés, au début de juin, l'un à Handzaene, l'autre à Thourout, le troisième à Snaeskerke (Fl. Occidentale), j'ai constaté aussi la présence de l'*Asterocystis* à l'exclusion du *Pythium*.

Il semble donc bien que, dans nos Flandres, ce soit l'*Asterocystis radicis* dont la présence est généralement associée avec le facies pathologique que les cultivateurs désignent sous le nom de brûlure.

Ce facies n'est d'ailleurs nullement caractéristique, puisqu'il se manifeste par des symptômes (perte de turgescence, jaunissement et mort des feuilles, surtout inférieures) que l'on observe dans tous les cas où l'approvisionnement en eau des plantes devient dangereusement précaire.

On conçoit que des parasites radiculaires divers puissent au même titre amener ce résultat et que ce soient les variations régionales de la flore mycologique ou peut-être même des variations plus locales encore de composition ou de traitement du sol (influence de la concentration des ions H?) qui provoquent l'intervention prépondérante, ici, de l'*Asterocystis*, là, du *Pythium*, ailleurs peut-être d'autres parasites radiculaires (*Thielavia*, *Hypochnus*, etc.).

La brûlure du Lin est, en somme, une manifestation que l'on peut rapprocher du « Damping off » des plantules d'espèces végétales variées, manifestation pathologique que l'on sait pouvoir être produite par l'intervention de Champignons très divers. Telle est, à mon avis, l'explication des divergences existant entre les résultats des observations des phytopathologistes hollandais et les miens, au sujet de l'étiologie de la brûlure du Lin.

BIBLIOGRAPHIE

(1) Em. Marchal, *Recherches biologiques sur une Chrytridinée parasite du Lin* (*Bulletin de l'Agriculture de Belgique*, 1901)

(2) Chr. Buisman (Mlle), *Root rots caused by Phycomycetes*. (Diss., Haarlem, 1927).

(3) J. H. H. Van der Meer, Vlasbrand (Brûlure du Lin), *Tijdschr. o. Plantenziekten*, **4**, 126, [1928]).

ÉTUDE CYTOLOGIQUE DES VERRUES DE LA POMME DE TERRE ATTAQUÉE PAR LE SYNCHYTRIUM ENDOBIOTICUM SCHILB.

par G. VERPLANCKE,

Assistant à la Station de Phytopathologie de l'Etat à Gembloux.

La maladie de la Gale noire de la Pomme de terre, causée par *Synchytrium endobioticum* Schilb. a été trouvée pour la première fois en Belgique en 1927.

Comme il a été publié assez bien de travaux sur la polyploïdie en rapport avec les tumeurs végétales et avec le cancer humain, il m'a semblé intéressant de me rendre compte si dans les verrues de la Pomme de terre je ne trouverais pas également des aberrances cytologiques du même ordre.

I. — *Matériel et méthodes*

Les verrues et autres tissus d'une pomme de terre de la variété Industrie de Pologne, ont été fixés dans du Bensley (acide osmique à 2 % . 1 partie ; bichlorure de mercure à 2,5 % : 4 parties) ; les coupes ont été colorées à l'hématoxyline ferrique.

II. — *Observations personnelles*

La division des cellules normales des chancres est tout à fait conforme à celle décrite par Nemec (4) ; toutefois, alors que Nemec signale 36 chromosomes, j'en ai trouvé, ainsi que je l'ai déjà dit dans une étude précédente (8) $n=24$, pour les variétés suivantes : Green Mountain, Irish Gobbler, Bliss Triumph, Russet Burkank, Eerstelingen ; l'Industrie de Pologne, qui a été étudiée ici possède également $n=24$ chromosomes.

Dans les chancres, je trouve des cellules géantes où j'ai pu remarquer diverses anomalies dans les divisions ; la première est la polyploïdie (fig. 1-5) : je trouve des cellules triploïdes et tétraploïdes ; les noyaux sont évidemment beaucoup plus grands dans ces cas ; mais les chromosomes gardent leur forme typique (bâtonnets minces, assez allongés).

La deuxième anomalie est la présence de cellules plurinucléaires ; ce fait a d'ailleurs déjà été signalé par Nemec (5) dans le « Crown gall » dû à *Bacterium tumefaciens* Smith et Townsend.

Il est intéressant de signaler que tous les fuseaux, lors de la division se réunissent en des pôles réduits en un point (Planche I, fig. 9), ainsi que le signale Nemec ; ceci est contraire à ce que j'avais observé dans les divi-

sions du méristème radiculaire où les pôles étaient larges, les fibres étant presque parallèles. Seulement, dans les tissus chancreux, on est en présence de points végétatifs, où les pôles ne sont jamais larges, mais punctiformes.

Un autre fait mérite de retenir l'attention ; c'est le comportement du vacuome dans les cellules du chancre (Planche I, fig. 1-7). J'ai, dans l'étude déjà signalée, attiré l'attention sur le fait que dans la Pomme de terre saine, aussi bien que dans la Pomme de terre atteinte de « Spindle tuber », le vacuome n'était pas décelable lors de la fixation. Or, dans les tissus chancreux, j'ai observé que les vacuoles étaient marquées très nettement par précipitation de leur contenu sous l'influence de l'acide osmique ; on pourrait donc supposer que l'action du champignon se marque par la formation dans le vacuome d'un produit qui aurait la faculté de précipiter le fixateur.

Voici d'ailleurs les formes que j'ai observées : le précipité noir se marque sous forme de petits points ; ceux-ci, dans les éléments plus âgés semblent s'agrandir ; dans d'autres cellules, ces points peuvent confluer et donner ainsi un vacuome composé de grandes sphères accolées. Cependant, d'autres cellules encore montrent comment les petites vacuoles, après être gonflées, peuvent s'accoler et former un réticulum qui, à son tour, devient plus large pour donner finalement un grand vacuome sans localisation spéciale dans la cellule.

III. — *Discussion*

Le comportement du vacuome est tout à fait comparable à ce que Guillermond a décrit pour les tissus sains : grains plus ou moins fins, alignés, granules alignés en chapelet ; parfois même précipitation sous forme de sphères entourées d'une membrane de précipitation plus fortement colorable.

Les chiffres chromosomiques suivants ont été signalés dans la Pomme de terre :

B. Nemec, (4), (1899) : $n = 36$;
M. Mano, (3), (1904) : $n = 17$;
Lutman, (1905) : $n = 36$;
Y. Fukuda, (1919) : $n = 24$, et $2n = 48$ (avec l'exception de White City où $n = 48$ dans les cellules-mères du pollen) ;
Y. Young, (11), (1923) : $n = 14$ à 16 ;
Stow, (7), 1927) : $n = 24$ dans les variétés suivantes : Gratiola, Parnassia, Pirola, Marschal Hindenburg, Deodora, Tuno, Belladone et Pepo ; il signale en outre qu'il n'y a aucune différence dans la taille ni la forme des chromosomes ;
Smith, (6), (1927) : $n = 24$ dans les variétés : McIntyre, et McCormick ;
Pour Early Ohio, $n = 24$ et environ 48 ;
Pour Russet Burbank, $n = 24$ et 48 ;
Pour Early Rose, $n = 48$;
Vilmorin, (9), (1927) : $n = 24$;
Y. Fukuda, (1), (1927) : $2n = 48$.

Comme je l'ai dit plus haut, l'étude à laquelle je me suis livré (8) me permet de fixer à 24 la valeur de n, dans toutes les variétés envisagées. Cependant, dans les cellules mères des grains de pollen, on trouve parfois

PLANCHE I

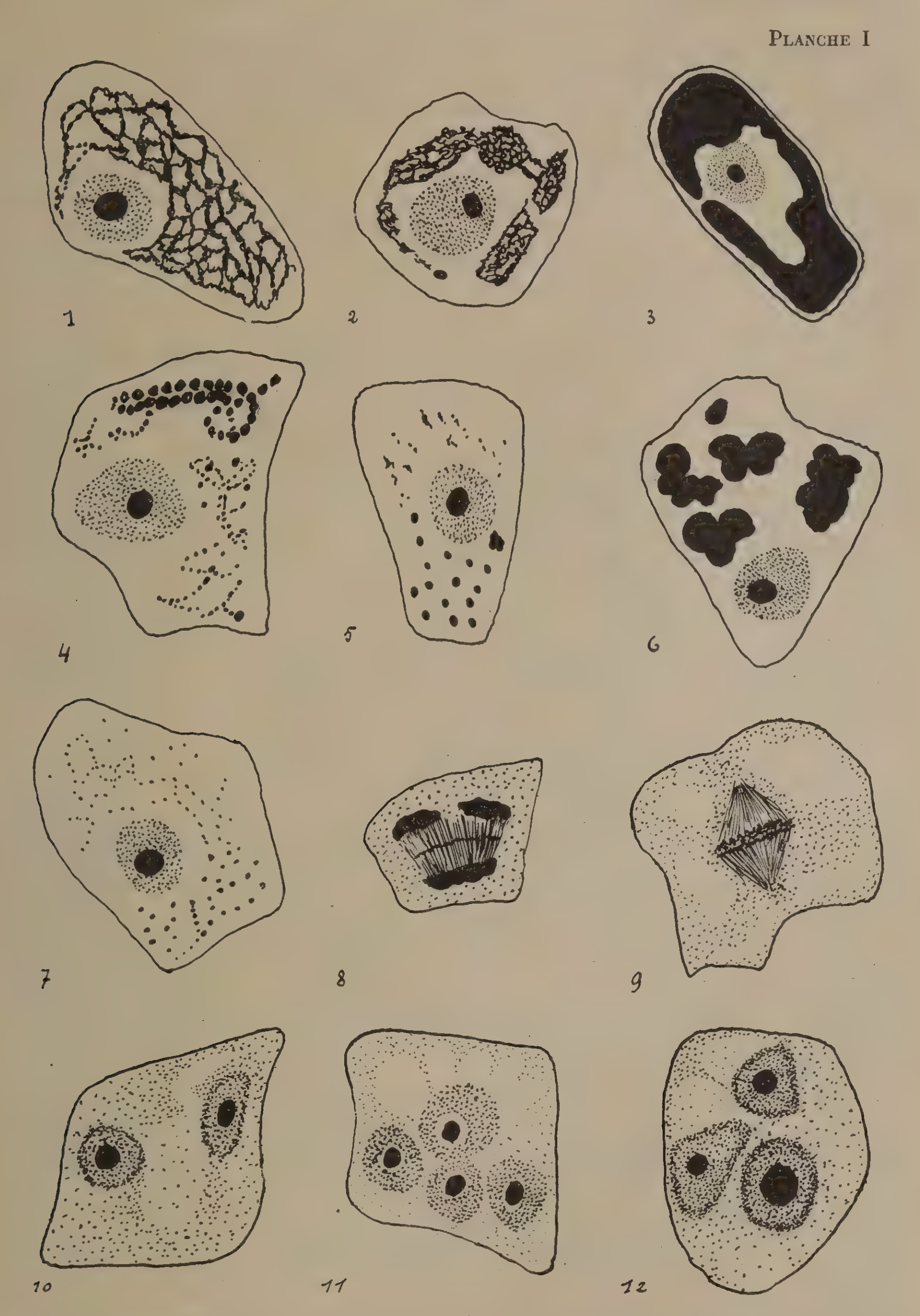


FIG. 1-6 : comportement du vacuome dans les cellules des verrues. — FIG. 7 et 9 : noyaux au repos. — FIG. 8, 10, 11 et 12 : anomalies dans la division des cellules des verrues.

un nombre double de chromosomes, par suite vraisemblablement d'anomalies dans les divisions de maturation. Toutefois, la taille et la forme des chromosomes est alors la même dans toutes ces variétés, ce qui confirme les résultats de Stow.

Quant aux cas de triploïdie et de tétraploïdie que j'ai constatés dans les chancres, il faut noter que d'autres auteurs ont déjà signalé des anomalies dans le nombre de chromosomes dans divers tissus malades. En outre, il a été décrit diverses mutations avec des formes polyploïdes, formes qui étaient des « gigas » dans la plupart des cas ; et diverses causes ont été invoquées pour expliquer ces anomalies ; je ne m'y arrêterai pas.

Winge (10) observe chez *Beta vulgaris* dans les tumeurs causées par *Bacterium tumefaciens* Smith et Townsend, que le nombre de chromosomes est doublé ($n=9$ dans les cellules normales) ; il trouve en outre de l'octoploïdie et même un nombre plus élevé de chromosomes ; et il considère que la tétraploïdie est une explication suffisante de l'avidité et de l'énergie de croissance augmentée qui caractérise les cellules de la tumeur, celles-ci devenant des parasites de la Betterave mère. Il insiste sur le fait qu'il n'a jamais trouvé dans les tumeurs de la triploïdie, de la pentaploïdie, de l'hexaploïdie ni de l'heptaploïdie, ce qui, d'après lui, prouve que les polyploïdies constatées proviennent du doublement du nombre des chromosomes. Les cellules diploïdes qui sont présentes dans les tumeurs seraient le résultat de la division réductionnelle des cellules tétraploïdes. Il conclut enfin à l'analogie entre les tumeurs végétales et les tumeurs animales.

Levine (2) trouve dans les cellules de la tumeur bactérienne de la Betterave, 18, 36 et même 72 chromosomes (alors que $n=9$) ; pour la tumeur de *Nicotiana glutinosa*, il trouve le nombre diploïde, quoiqu'il renseigne également de la tétraploïdie ; dans la spermatogénèse de la souris blanche, il trouve 20 chromosomes dans les spermatocytes primaire et secondaire ; dans les tumeurs transplantées il compte 40 chromosomes dans certaines cellules, alors que d'autres en contiennent un nombre beaucoup plus élevé. Enfin, pour le cancer humain, quoique le comptage soit très difficile dans les cellules géantes, il signale plus de 200 chromosomes. Il pense que la polyploïdie peut trouver son origine dans la non-division de la cellule après la division nucléaire.

Dans le cas présent, je pense également que la non-division est la cause de la tétraploïdie constatée ; et ce qui semble appuyer cette opinion, c'est la présence de cellules plurinucléées dans les chancres (Planche I, fig. 10-12) ; cependant il ne faut pas perdre de vue que la verrue contient également des cellules à trois noyaux. Quelle est leur origine ? De même il m'a été impossible de trouver une explication de l'origine des noyaux triploïdes.

PLANCHE II

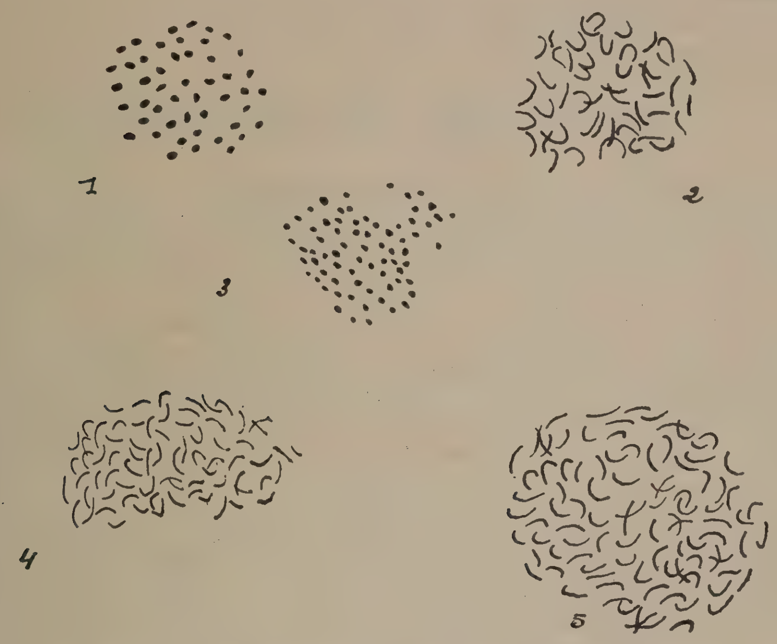


FIG. 1 et 2 : noyaux diploïdes. — FIG. 3 et 4 : noyaux triploïdes.
FIG. 5 : noyaux tétraploïdes.

Bibliographie

(1) Y. FUKUDA, *Cytological Studies on the Development of the Pollen Grain in Different Races of* Solanum tuberosum L., *with Special Reference to Sterility* (*Bot. Mag. Tokyo*, **41**, [1927]).

(2) M. LEVINE, *The Chromosome Number in Crowngall and Cancer Tissues* (*Phytop. Abstr.*, **19**, 97, [1929]).

(3) Martins-Th. MANO, *Nucléole et chromosomes dans le méristime radiculaire de* Solanum tuberosum *et* Phaseolus vulgaris (*Cellule*, v. **22**, 57, [1904]).

(4) B. NEMEC, *Ueber Kern u. Zellteilung bei* Solanum tuberosum L. (*Allg. Bot. Zeit*, **86**, n. 2, [1899]).

(5) B. NEMEC, *Ueber Pflanzentumoren* (*Arch. f. Zellforsch.*, **6**, 172-177 [1928]).

(6) H. B. SMITH, *Chromosome Counts in the Varieties of* Solanum tuberosum *and Allied wild Species* (*Genetics*, **12** [1927]).

(7) STOW, *A Cytological Study on Pollen Sterility* in Solanum tuberosum L., (*Japanese Journ. of Bot.*, **3**, n. 3 [1927]).

(8) G. VERPLANCKE, *Contribution à l'étude histologique et cytologique d'une maladie de la Pomme de terre appelée en Amérique « Spindle tuber »*.

Mémoires de l'Académie royale de Belgique (Classe des Sciences) 2e série, t. XI, 42 p., (1930).

(9) R. VILMORIN et M. SIMONET, *Variations du nombre des chromosomes chez quelques Solanées* ; Comptes rendus de l'Acad. Sc., séance du 17 janvier 1927.

(10) O. WINGE, *Cytologische Untersuchungen über die Natur maligner Tumoren. I. — « Crown gall » der Zuckerrübe* (*Zeitschr. f. Zellf. und Mikr. Anat.*, **6**, 3, 397-423 [1927]).

(11) YOUNG, *Germ. cells in the Potato* (*Amer. Jorn. of Botany*, **10**, 325-334 [1923]).

LA MÉLANOGÉNÈSE CHEZ LES VEGÉTAUX (1)

par Mlle Marie BRAECKE,

Docteur en Sciences, Docteur en Pharmacie.

Le noircissement des plantes *post mortem* est un phénomène de physiologie végétale très répandu, extrêmement intéressant et encore relativement peu étudié. Il est généralement la résultante d'une fermentation. La coloration obtenue n'est pas toujours d'un noir franc, elle peut être d'un brun foncé ou d'un bleu indigo s'accentuant jusqu'au violet foncé. La mélanogénèse, au sens large, signifie la formation d'une coloration sombre aux dépens de principes déterminés. Les processus biologiques qui sont à la base de ces phénomènes sont relativement complexes. Les diastases qui entrent en jeu sont inactives dans les tissus vivants. Ce sont des ferments oxydants et des ferments hydratants.

Les premiers déterminent le noircissement en agissant sur des phénols, des glucides à fonction phénolique, des tanoïdes, des amino-acides.

Les seconds hydrolysent des glucides dont l'aglycon se transforme par polymérisation en un corps noir, ou est un phénol sensible à l'action d'un ferment oxydant.

Envisageons successivement les exemples caractéristiques de ces divers processus dont le mécanisme est partiellement ou entièrement élucidé.

Il y a lieu de faire remarquer que Mlle A. Senglet explique un cas de mélanogénèse, celui des chatons et des jeunes feuilles de noyer (*Juglans regia* L.) sans l'intervention d'un processus fermentaire, comme étant dû uniquement à un phénomène d'autoxydation dépendant du *p*H du suc cellulaire qui tend vers l'alcalinité lors de la dessiccation lente.

Action des ferments oxydants

a) *Sur les phénols*

Orobérol. — M. Bridel et C. Charaux ont pu extraire à partir de plantes séchées avec précaution d'*Orobus tuberosus* L. (*Lathyrus macrorhizus* Wimmer) un produit cristallisé de couleur rose pâle ayant tous les caractères d'un acide-phénol facilement oxydable renfermant plusieurs fonctions phénoliques. Ils l'on dénommé « Orobérol ». Il répond à la formule ; $C_{18}\ H_{14}\ O_8$. C'est l'orobérol salifié qui donne une coloration bleue sous l'action des ferments oxydants ; c'est effectivement à l'état de sel que ce composé se trouve dans les tissus vivants de l'*Orobus*. Cette obtention d'un

(1) Cette communication paraîtra *in extenso* dans : *Annales et Bulletin de la Société royale des Scienc. Méd. et Nat.*, 1930, nos 7-8.

chromogène à partir d'un phénol salifié rappelle le bleuissement par la laccase du sel alcalin ou alcalino-terreux du bolétol extrait par G. Bertrand à partir du Bolet.

b) *Sur un hétéroside à fonction phénolique*

Orobanchoside. — L'orobanchoside est un hétéroside amer lévogyre extrait à l'état pur et cristallisé par M. Bridel et C. Charaux à partir de la partie souterraine renflée en bulbe de la tige d'*Orobanche Rapum* Thuill. Il possède les caractères d'un phénol. Sa solution aqueuse est oxydée sous l'influence du suc glycérolé de *Russula delica* Vailb. avec formation d'un précipité jaune clair qui devient brun. Le brunissement d'une section de tubercule d'Orobanche est dû à l'oxydation directe d'un hétéroside à fonction phénolique.

c) *Sur les tanins*

Les tanins constituent une série de composés organiques très divers qui jouissent de quelques propriétés physico-chimiques qui les groupent sous une appellation commune. Ces corps sont en général des éthers de phénols (pyrocatéchol, pyrogallol) ou d'acide-phénols (acide protocatéchique, acide gallique) ou bien des éthers d'acides aromatiques (glucogalline).

Musacatéchine. — Ce tanin a été extrait par J. Zender de l'épicarpe des bananes. Il a été purifié par la méthode de Karrer mais n'a pas été obtenu à l'état cristallisé. Il présente quelques réactions générales des tanins. Soumis à l'action du système fermentaire : peroxydase en présence d'une oxygénase, il donne une coloration rose qui vire au rouge-jaune, puis au rouge orangé et à l'orangé foncé pour aboutir, après quelques heures, à une coloration chamois-foncé avec précipitation noire. C'est ce processus qui détermine la coloration noire des bananes étiolées.

D'après Aso, le noircissement des feuilles de thé serait dû à un phénomène de même ordre.

*Tanin des feuilles d'*Ilex paraguariensis *St-Hil.* — Mlle A. Senglet a mis en évidence les faits suivants : Les feuilles fraîches d'*Ilex paraguariensis* St Hil. renferment deux ferments :

1° La *tyrosinase* décelée par la méthode du crésol-azur sur une extraction de feuilles au moyen d'une solution aqueuse de chlorure sodique à 3 %.

2° La *peroxydase* décelée par le bleuissement sous l'influence du suc des feuilles, d'une teinture alcoolique fraîche de résine de gaïac additionnée d'eau oxygénée.

Ces deux ferments sont susceptibles de produire le noircissement des feuilles sapéquées et sont inactivés par l'opération du sapécage. Le maté contient des substances galloïdes, non retenues par la poudre de peau, qui subissent un brunissement considérable par le système peroxydase-peroxyde. La défécation à l'acétate de plomb précépite la substance oxydable. C'est

probablement l'oxydation d'une substance tanoïde qui produit le brunissement du maté.

d) *Sur les amino-acides aromatiques*

Tyrosine. — Un acide aminé, la tyrosine, est un facteur de la mélanogenèse chez les végétaux. Il a été découvert par Liebig. Sa formule est : $C_9 H_{11} O_3 N$. C'est l'acide p-oxy-β-phényl-α-aminopropionique. Le nombre de plantes à partir desquelles on est parvenu à extraire la tyrosine n'est pas extrêmement considérable. La recherche de ce corps avait pour but d'apporter une contribution à l'explication de la synthèse et de la désagrégation des albuminoïdes dans les végétaux, en décelant l'existence des amino-acides qui les élaborent ou qui résultent de leur hydrolyse. Schulze et ses élèves ont extrait la tyrosine à partir de graines, de plantules, de gousses, de tubercules, de racines, de baies de diverses espèces. L'ensemble de ces résultats prouve que, à l'exception de E. Bourquelot et H. Hérissey qui attribuent à l'oxydation de la tyrosine isolée le noircissement des gousses de *Vicia faba* L., les auteurs se sont très peu inquiétés du fait de savoir si la mélanogénèse était due à ce processus fermentaire. La tyrosinase est très répandue. Maquenne et Demoussy croient pouvoir attribuer à son activité le noircissement de beaucoup de végétaux. On ne peut à priori conclure que la tyrosinase agisse dans tous les cas sur la tyrosine. Elle pourrait oxyder d'autres corps chimiques inconnus susceptibles de noircir sous son action. Dans ces recherches, il faut à la fois caractériser le ferment et le corps sur lequel il exerce son pouvoir diastasique.

Dioxyphénylanine. — Ce corps, découvert par Torquati dans les gousses et les plantules de *Vicia faba* L., est l'acide 3.4 dioxy-β-phényl-α-aminopropionique $C_9 H_{11} O_4 N$. Très voisin de la tyrosine, il se transforme sous l'influence du protoplasme des cellules épithéliales de la peau, par oxydation et condensation en un corps foncé (gris, brun foncé ou noir) appelé dopamélanine.

Action des ferments hydratants sur les hétérosides

a) *Phénomène d'hydrolyse suivi de polymérisation de l'aglycon*

Aucuboside. — L'aucuboside est un hétéroside dédoublable par l'émulsine décelé et extrait par E. Bourquelot et H. Hérissey à partir des graines fraîches, débarrassées de leur péricarpe, de l'*Aucuba japonica* L. Sa formule est : $C_{13} H_{19} O_8 H_2 O$. Si l'on envisage uniquement les processus élucidés de la mélanogénèse chez les végétaux, ce corps est peut-être la substance chimiquement définie la plus répandue que l'on connaisse jusqu'à ce jour qui donne lieu au noircissement des plantes *post mortem*.

Sous l'influence de l'émulsine, ferment contenu en même temps que l'hétéroside dans les tissus, l'aucuboside se dédouble suivant l'équation :

$$C_{13} H_{19} O_8 + H_2 O = C_6 H_{12} O_6 + C_7 H_9 O_3$$

Aucuboside + eau = glucose + aucubigénol

L'aucubigénol est un produit incolore, soluble dans l'eau, très altérable et non isolé. A la température ordinaire, il s'altère lentement en colorant les liqueurs en noir. A une température plus élevée il se transforme, vraisemblablement par polymérisation, en un précipité noir insoluble. C'est cette hydrolyse fermentaire qui se produit dans les tissus végétaux. Cet hétéroside a été extrait à partir de diverses graines. La mélanogenèse des espèces suivantes est expliquée par son extraction à partir de plantes entières :

Aucuba japonica L. par C. Lebas ;
Garrya elliptica, G. macrophylla, G. Thuretii, par H. Hérissey et C. Lebas ;
Lathraea clandestina L. par M. Bridel ;
Melampyrum arvense L. par M. Bridel et moi ;
Melampyrum pratense L., *M. nemorosum* L., *M. cristatum* L., par moi ;
Rhinanthus Crista-galli L., par moi.

Aspéruloside. — L'aspéruloside est un hétéroside extrait par H. Hérissey à partir des plantes entières de l'Aspérule odorante : *Asperula odorata* L. Sa saveur est franchement amère. Sous l'influence de l'émulsine, la solution de l'hétéroside se colore en brun tandis qu'il se forme un précipité brun et que du glucose est libéré. Ce processus est la cause du noircissement observé au cours d'une mauvaise dessiccation de l'aspérule.

L'aspéruloside, qui existe vraisemblablement dans de nombreuses plantes de la famille des Rubiacées, a été extrait par H. Hérissey à partir du *Galium Aparine* L. et du *Galium verum* L.

Des essais biochimiques à l'invertine et à l'émulsine effectués par moi prouvent l'existence d'un hétéroside hydrolysable par ce ferment en libérant un aglycon qui se polymérise en un corps noir dans quelques espèces des genres suivants : *Euphrasia, Freylinia, Odontites, Bartschia, Pedicularis, Pentastemon, Veronica.*

Méliatoside. — Le méliatoside est un hétéroside retiré du *Menyanthes trifoliata* L. par M. Bridel. Par hydrolyse au moyen de l'émulsine la solution aqueuse de méliatoside incolore devient d'un bleu intense et c'est à la formation de cette matière colorante qu'est dû le bleuissement par dessiccation du trèfle d'eau.

Monotropéoside. — Le monotropéoside est un hétéroside à saveur et réaction acides, extrait des plantes entières de *Monotropa Hypopitys* L. par M. Bridel. Sous l'action de l'émulsine la solution aqueuse prend une belle teinte bleu indigo, puis la coloration bleue s'accentue, devient même violette et il se forme un précipité bleu abondant. La formation par hydrolyse fermentaire de cette matière colorante d'un bleu intense est la cause de la mélanogénèse des Monotropes.

En résumé, la polymérisation de l'aglycon libéré par les ferments hydratants à partir d'hétérosides se fait avec formation d'un précipité noir : aucuboside, aspéruloside, ou d'un précipité bleu : méliatoside, monotropéoside.

b) Phénomène d'hydrolyse suivi d'oxydation de l'aglycon

Arbutoside. — L'arbutoside est un hétéroside, extrait pour la première fois à l'état pur par E. Bourquelot et M[lle] Fichtenholz à partir des feuilles fraîches de Poirier. Il a pour formule $C_{12} H_{16} O_7 . H_2 O$. Sa solution aqueuse s'hydrolyse sous l'influence de l'émulsine en glucose et en hydroquinol qui se colore en jaune brunâtre à l'air. Le brunissement des feuilles de poirier étiolées s'explique par ce processus d'oxydation du phénol libéré. L'arbutoside a été extrait des genres suivants : *Arctostaphyllos*, *Chimaphila*, *Grevillea*, *Pirola*, *Pirus*, *Vaccinium.*

Méthylarbutoside. — Le méthylarbutoside existe simultanément avec l'arbutoside dans le genre *Pirus*. Sa formule est $C_{12} H_{16} O_7 . H_2 O$. Sous l'influence de l'émulsine il se dédouble en glucose et en méthylhydroquinol. Celui-ci ne s'oxyde pas spontanément à l'air mais bien sous l'influence d'un ferment oxydant. Il se forme une teinte jaune orange puis un précipité jaune assez abondant.

Le méthylarbutoside a été extrait des genres : *Arctostaphyllos et Pirus.*

Les colorations automnales de feuilles de Poirier s'expliquent, selon les espèces et les variétés de *Pirus* envisagées, par l'hydrolyse de l'arbutoside ou du mélange d'arbutoside et de méthylarbutoside qu'elles renferment.

Si nous considérons, dans leur ensemble, les faits qui viennent d'être énoncés, il s'en dégage que la mélanogénèse des végétaux est essentiellement un phénomène de destruction, après la mort des tissus, des principes immédiats contenus dans les cellules. C'est le premier stade de la transformation par oxydation directe ou après hydrolyse, sous l'influence de ferments, de substances chimiques très variées. Ce processus offre une complexité insoupçonnée à priori mais qui s'explique par la diversité des composés organiques que renferme le suc cellulaire des espèces végétales. Toutefois, il est remarquable de constater que l'aucuboside a été extrait de plantes appartenant à des familles éloignées les unes des autres au point de vue phylogénétique : Garryacées, Cornacées, Scrophulariacées, Orobanchacées, Plantaginacées. L'extraction des principes immédiats et l'étude de leurs propriétés offre la possibilité d'élucider des problèmes complexes en fournissant d'une manière indubitable une solution parfois imprévisible. On parvient ainsi à pénétrer le mécanisme intime de phénomènes de physiologie végétale. L'étude de la mélanogénèse en est un exemple saisissant.

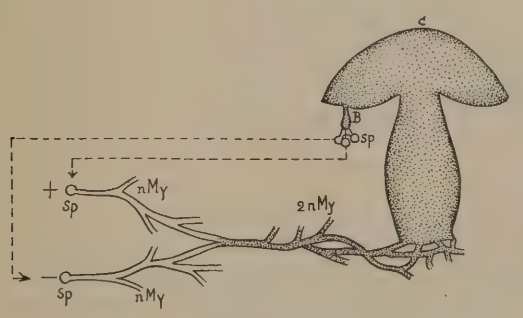
LA CONTRIBUTION BELGE À L'ÉTUDE DU PROBLÈME SEXUEL DES CHAMPIGNONS .

par René VANDENDRIES

Inspecteur de l'Enseignement Moyen et Normal

Dans le présent rapport nous condensons en quelques pages l'exposé de nos recherches, les seules parues en Belgique, concernant la sexualité des Hyménomycètes. Le lecteur désireux de connaître la littérature étrangère traitant de cette question complexe, trouvera la plupart des références utiles dans les mémoires de la liste bibliographique annexée à notre rapport.

Nous avons voulu vérifier tout d'abord, dans leurs grandes lignes, les diverses phases de l'évolution d'une espèce, déterminer le nombre de chromosomes d'une cinèse et assister au microscope à deux phénomènes capitaux, non observés jusque là, mais dont l'existence n'était plus mise en doute : La fusion de deux filaments de sexe opposé, avec création du premier dicaryon, et l'apparition subséquente d'une végétation à anses d'anastomose [1].



Une série de recherches portant sur treize individus d'*Hypholoma fasciculare*, issus chacun d'une spore, démontre dans une sporée l'existence de deux tendances sexuelles nettement opposées. Nous reconnaissons chez les Hyménomycètes la nature sexuelle d'espèces dont nous définissons la *bipolarité* par la loi suivante : « Le nombre maximum de croisements fertiles possibles à partir de n spores est de $\left(\frac{n}{2}\right)^2$, si n est pair, et de

[1] Les chiffres indiqués dans le texte concordent avec ceux de la liste bibliographique annexée au rapport. La pagination indiquée est celle de la revue où le mémoire a paru.

$\frac{n^2 - 1}{4}$ si n est impair. » Il résulte de la date où fut énoncée cette loi que la priorité de la découverte des espèces bipolaires nous revient.

A la fin du deuxième mémoire sont signalés des cas d'*hermaphroditisme*, deux thalles fertiles pour un même troisième pouvant se conjuguer entre eux. Ces exceptions à l'invariance sexuelle que nous fûmes les premiers à observer, réapparaîtront dans bien d'autres cultures et trouveront une interprétation rationnelle à la lumière des théories de Hartmann concernant la nature sexuelle des *Hyménomycètes* [1]. Poursuivant nos recherches, nous avons isolé de nombreuses spores, obtenu de longues séries d'haplontes que nous avons croisés suivant toutes les combinaisons possibles, ce qui nous a permis de dresser des tableaux de croisements montrant à toute évidence : 1° l'existence de deux sexes dans une même sporée ; 2° la permanence des deux sexes primitifs dans les descendants de deuxième et troisième génération. Ces essais portent sur 125 haplontes qui ont produit 1.360 cultures mixtes (4).

Il résulte encore de ces recherches étendues que les espèces *bipolaires* obéissent à la loi générale de fertilité entre individus de souches *étrangères*, loi établie par *Kniep* pour les espèces *tétrapolaires*. Cette loi fera plus tard l'objet de longues investigations.

Nous entreprenons ensuite l'étude de *Coprinus radians*, autre espèce bipolaire. Fidèle à nos premières méthodes, nous commençons le travail par des recherches de nature chimique destinées à procurer à nos cultures un milieu nutritïf optimum. Ces recherches permettent d'établir l'extrême sensibilité de ces organismes à des traces en excès d'alcalinité ou d'acidité (6) et de fixer pour l'espèce intéressée les conditions optima de développement. Une cinquantaine d'haplontes, engagés dans 1.054 croisements répondent, à quatre croisements près, aux conditions prévues par le calcul. Le tableau suivant donne les résultats d'une série de cultures mixtes entre individus d'une sporée bipolaire.



Dans les essais de croisements entre souches de *Coprinus radians* éloignées l'une de l'autre de quatre kilomètres, nous avons identifié le sexe d'un individu qui se montrait stérile avec tous ses congénères, et établi que sa caractéristique sexuelle correspondait exactement avec celle d'un lot d'individus de la deuxième souche. Une note complémentaire du mémoire (6) annonce que 24 haplontes ont produit spontanément après un an, des anses d'anastomose. Il en résulte que l'espèce *Coprinus radians*, considérée comme *hétérothalle*, est en réalité hétéro-homothalle.

Prévoyant l'importance du phénomène, nous en poursuivons l'étude et en démontrons la fréquence par des chiffres : le dernier relevé (8) fait sur *Coprinus radians* fixe à 36 le nombre de mutants pour un total de

[1] Communications au Congès national. Publications dans le *Bulletin de l'Ac. royale de Belgique*, 1930 (23) (24).

56 individus monosporiques mis en culture. L'espèce en question constitue un sujet d'élite pour des observations de longue durée ; elle permet d'étudier la fixité du sexe à travers les générations et de démontrer que les individus de troisième génération cultivée ont gardé les sexes des premiers générateurs sauvages.

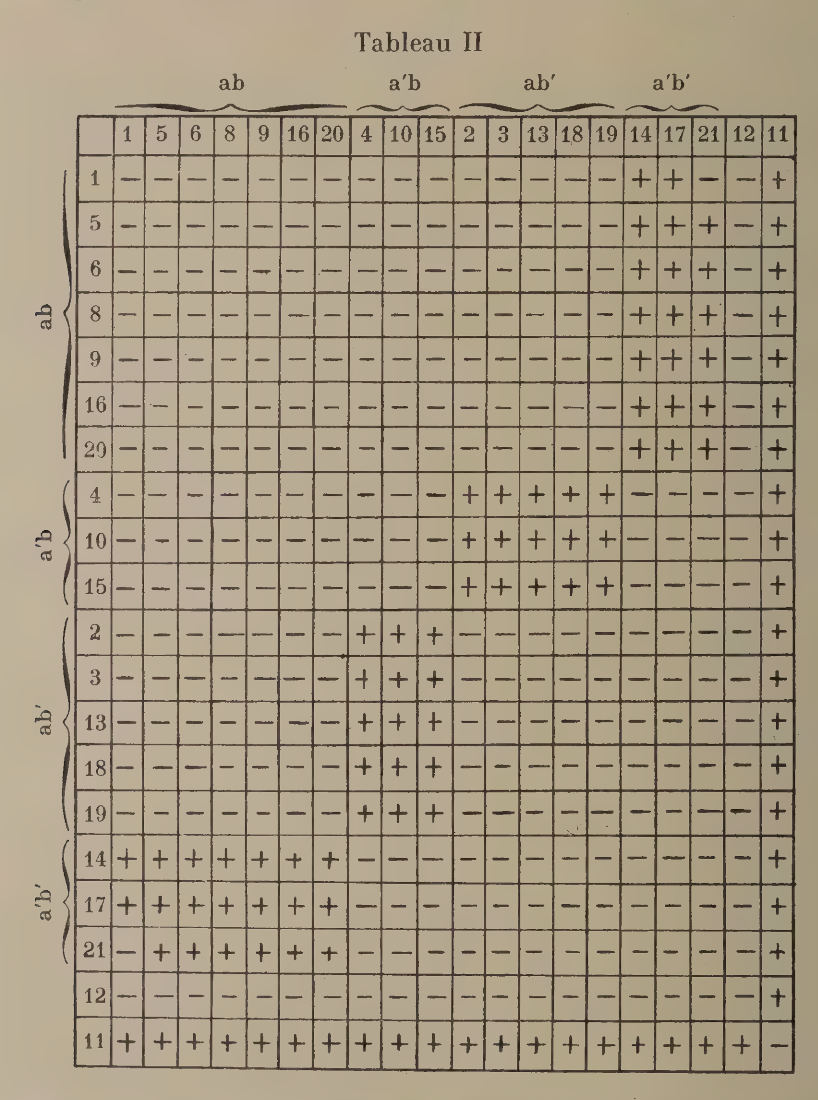
Tableau I

	1	3	4	5	6	9	10	11	13	14	16	17	18	19	21	24	2	7	8	12	15	20	22	23
1	−	−	−	−	−	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−	+	+	+	+	+	+
3	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	−	+
4	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	−	+	+	+
5	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
6	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
9	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
10	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	−	−	+	+	+	+
11	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
13	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
14	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	−	−	+	−
16	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	−	+	+	+	+
17	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
18	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
19	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
21	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
24	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−
7	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−
8	+	+	+	+	+	+	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−
12	+	+	+	+	+	+	−	+	+	+	−	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−
15	+	+	−	+	+	+	+	+	+	−	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−
20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−
22	+	−	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−
23	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−

Analyse de 24 haplontes d'une sporée de *Coprinus disseminatus.*

Perfectionnant nos méthodes, nous parvenons à isoler les quatre spores de sept basidies, à les faire germer et à démontrer par l'entrecroisement des haplontes obtenus que chaque basidie donne naissance à deux individus d'un sexe, à deux de l'autre, ce que tous les résultats antérieurs laissaient prévoir. Et pour montrer à quel point le champignon étudié est

Tableau II



		ab							a'b			ab'					a'b'				
		1	5	6	8	9	16	20	4	10	15	2	3	13	18	19	14	17	21	12	11
ab	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	+
	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+
	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+
	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+
	9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+
	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+
	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+
a'b	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	—	—	—	+
	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	—	—	—	+
	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	—	—	—	—	+
ab'	2	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
	3	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
	13	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
	18	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
	19	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
a'b'	14	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
	17	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
	21	—	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
	11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

Tableau de croisements de 21 haplontes d'une même sporée de *Hypholoma hydrophilum*. Bull.

Tétrapolarité et mutations sexuelles.

Les croisements fertiles sont indiqués par +

Les croisements stériles sont indiqués par —

Pour chaque cas l'un des haplontes intéressés est indiqué verticalement en tête du tableau, l'autre horizontalement, à gauche.

un objet précieux aux mains du génétiste, il a suffi d'établir que le cycle complet d'évolution en milieu artificiel, de la date de l'ensemencement à celle du dépôt de la sporée de deuxième génération, comporte exactement 31 jours (9).

La florule mycologique de *Rixensart* va fournir un nouveau sujet de recherches : le *Coprin micacé* se révèlera à son tour un merveilleux objet d'étude.

L'examen de deux sporées issues d'une même souche donne les résultats suivants:

1. *Coprinus micaceus* Fr. est une espèce hétérothalle, tétrapolaire, présentant des anses d'anastomose.

2. Les deux sporées soumises à l'analyse renferment de nombreux individus qui dérogent aux lois du dihybridisme pur. Ces dérogations sont considérées comme des mutations sexuelles. Une note complémentaire du mémoire (11) ajoute que la mutation hétérohomothallique vient d'être observée sur deux sujets mis en culture. Cette dernière observation sera le point de départ d'une longue série de recherches nouvelles. Le tableau emprunté à une série de nos croisements sur une sporée de *Hypholoma hydrophilum*, met en relief l'existence des quatre formes sexuelles et leurs combinaisons dans une espèce tétrapolaire.

Nos premières mutations observées sur des haplontes de *Coprinus micaceus* dérogent aux lois mathématiques formulées par Kniep. Nous constatons de nombreuses régressions de fertilité ; dans la confrontation sexuelle des haplontes de deuxième génération avec la lignée des ascendants, cette tendance va s'accentuant au point que les haplontes hybrides à deux facteurs sexuels prennent le caractère d'haplontes unipolaires (11).

Dans le mémoire (11) les nombreuses mutations hétérohomothalliques qui surgissent parmi nos collections d'haplontes font l'objet de nouvelles recherches et permettent de noter toutes les modalités du phénomène et les conditions qui en favorisent l'apparition.

En voulant vérifier sur *Coprinus micaceus* la loi de fertilité générale qui régit les confrontations entre individus de souches étrangères, nous sommes amenés à croiser des haplontes lyonnais avec des représentants d'une lignée anversoise. A notre stupéfaction les lyonnais refusèrent toute copulation avec les partenaires anversois, tandis que les premiers comme les seconds se montrèrent fertiles entre eux. Furent mis en ligne dans ces essais 48 haplontes lyonnais et 36 haplontes anversois. Les résultats obtenus sont tellement démonstratifs qu'une restriction s'impose au double critérium de spécificité formulé par nous auparavant. « Si les haplontes de deux carpophores étrangers l'un à l'autre sont fertiles entre eux, ces deux carpophores appartiennent à une même espèce. » La forme négative de ce principe doit être rejetée. « Si les haplontes de deux carpophores étrangers l'un à l'autre sont stériles entre eux, ces deux carpophores n'appartiennent pas à la même espèce. » Dès ce moment nous décidons de soumettre l'espèce *Coprinus micaceus* à une enquête étendue (14).

Sont confrontés 250 haplontes européens émanant de 22 souches et

137 haplontes américains issus de 15 souches. 178 tableaux rendent compte des résultats obtenus par les croisements et permettent de conclure comme suit :

1° L'analyse des croisements entre haplontes issus d'un même pied ou d'une même souche prouve que dans une sporée il existe une tétrapolarité le plus souvent cachée par de nombreuses dérogations aux lois du dihybridisme.

2° Entre individus d'une même aire géographique, c'est la fertilité qui est normale.

3° Entre souches très éloignées, appartenant à deux aires géographiques distinctes, la stérilité est la règle. Ceci constitue un phénomène nouveau dans la biologie des Basidiomycètes.

Ces résultats laissant encore inachevée la solution du problème (15) et sans prétendre découvrir la nature intime des phénomènes observés, il nous fallait analyser de près les nombreuses dérogations aux lois générales de fertilité et d'incompatibilité sexuelle. Ces dérogations semblent dues à des variations de facteurs génotypiques apparues dans les spores. Il s'agit de déterminer si ces mutations sont orientées vers la stérilité ou la fertilité.

En collaboration avec M. Robijn, d'Anvers, (16) furent mises en observation : 1° 37 souches européennes, ayant pour pays d'origine l'Angleterre, la Hollande, la Belgique, l'Autriche, l'Italie. Elles ont fourni 314 haplontes ; 2° une souche africaine, d'Alger, avec 15 individus ; 3° une sporée d'Ottawa, une autre de Winnipeg, quatre souches de Lincoln, deux de Sharon et une de Cambridge (Mass.). En tout 67 individus.

Les conclusions de ces longues recherches sont les suivantes :

1° Les populations très éloignées l'une de l'autre sont stériles quand on les met en contact.

2° Les populations d'une région donnée sont fertiles entre elles. Toute perturbation dans cet état d'harmonie actuelle trouve sa source dans des mutations. Celles-ci sont indépendantes de facteurs extrinsèques tels que climat, latitude, habitat, agents naturels extérieurs.

Les individus mutants ne constituant qu'une minorité, l'équilibre défini est appelé à persister, comme conséquence inéluctable des lois de l'hérédité et de la loi du nombre.

D'après nous chacune de ces populations constitue une communauté portant le sceau d'un caractère propre (18) que nous avons appelé *gène dominante*. Ce qui interdit la copulation entre représentants très éloignés, c'est qu'ils sont pourvus de gènes dominantes très différentes et que l'activité de leurs facteurs kniepiens, quels qu'ils soient, reste inopérante, tandis que la possession commune d'une même gène dominante permettra aux représentants d'une zone donnée d'obéir aux lois kniepiennes dans leurs relations entre eux. Tout en étant héréditaires, les gènes dominantes semblent échapper aux lois du mendélisme et se différencier nettement des facteurs kniepiens. Elles sont sujettes à mutation et peuvent muter de l'une à l'autre, présenter entre deux valeurs extrêmes, tous les degrés intermédiaires et engendrer des cas d'interférence permettant la fertilité

de certains individus avec deux ou plusieurs groupes distincts. Ces gènes dominantes seraient à rapprocher des facteurs spécifiques, qui au fond se conduisent comme elles, autorisent la conjugaison entre individus co-spécifiques et interdisent la fertilité entre types d'espèces différentes sauf les cas exceptionnels d'hybridation. En réalité, les Coprins micacés d'Amérique se conduisent à l'égard des représentants européens comme s'ils constituaient une autre espèce, et le problème sexuel du Coprin semble, ici, se rapprocher singulièrement des contingences spécifiques.

Une série de recherches nouvelles (19) aura pour but de saisir sur le vif les mutations demeurées de pures hypothèses. Il s'agira de découvrir leur orientation et d'expliquer par là les phénomènes dont nous fûmes témoins. C'est dans l'analyse des sporées parthénogéniques issues des souches de Trente (Italie) et de Sharon (U. S. A.) qu'apparurent *in vitro*, dans le laboratoire, des changements soudains qui ont montré comment la nature opère pour créer la fertilité ou la stérilité entre souches étrangères d'une même espèce (20).

Après nous être assuré du caractère parthénogénique des spores mises en expérience, nous avons soumis d'abord au test du croisement les individus de trois générations parthénogéniques successives, d'où résulte à toute évidence que les mutations apparues conduisent certaines lignées à la stérilité à l'égard des congénères et des souches ancestrales. Les confrontations de la souche mère parthénogénique et de ses descendants avec des lignées étrangères furent tout aussi démonstratives; des dérogations, orientées d'une part vers la fertilité, d'autre part vers la stérilité, surgissent d'une génération parthénogénique à l'autre. S'impose alors la conclusion : « Les souches parthénogéniques américaines, comme celles d'Europe, subissent des mutations qui expliquent les cas de stérilité et de fertilité observés dans les confrontations entre haplontes sauvages de sporées lointaines.»

Il résulte bien de cette longue étude que la cause des variations sexuelles observées par nous doit être cherchée dans les spores et surgit dans les noyaux haploïdes formés par les basidies ; cette cause est héréditaire et se transmet sans modification d'une génération à l'autre.

Désireux de confirmer ces résultats sur d'autres Champignons, nous avons mis en expérience deux autres espèces : *Coprinus disseminatus* Pers. et *Hypholoma hydrophilum* Bull. Les analyses des premières sporées sont consignées dans deux articles (20, 21) parus dans le *Bulletin de la Société royale de Botanique de Belgique*. Ils démontrent la bipolarité sexuelle de *Coprinus disseminatus*, la tétrapolarité sexuelle de *Hypholoma hydrophilum*. Les premières mutations observées laissent bien augurer des recherches ultérieures.

Dans une deuxième communication au Congrès national, nous avons appliqué aux phénomènes sexuels des Basidiomycètes les théories de HARTMANN concernant la bisexualité et la relativité sexuelle. Cet essai de synthèse tend à introduire dans le cadre général de la sexualité, tel qu'il existe pour l'ensemble des deux règnes, les phénomènes complexes dont il a été rendu compte dans ce rapport ([23]). Cette synthèse est basée sur l'exis-

tence de deux potentiels, l'un mâle, l'autre femelle, présents dans toute cellule d'un haplonte; ils sont héréditaires et non soumis aux lois mendélinnes. L'activité de ces potentiels est réglée par la co-existence de deux déterminants sexuels, inhibant respectivement, à des degrés différents, le potentiel mâle et le potentiel femelle. Les déterminants sexuels, logés dans des chromosomes mendélisants, représenteraient les gènes kniepiennes et seraient responsables des variations sexuelles que nous avons relatées dans le présent rapport. Nous avons essayé de mesurer sur une centaine d'haplontes de *Psathyrella disseminata* ([24]) la valeur respective de ces déterminants sexuels. Les chiffres obtenus satisfont, sauf quelques exceptions, aux résultats de nos croisements.

Liste bibliographique des travaux de l'auteur concernant la Sexualité des Hyménomycètes

(1) *Recherches sur la sexualité des Basidiomycètes* (*Comptes rendus des séances de la Société de Biologie de Bruxelles*, **86**, 513 [1922]).

(2) *Recherches sur le déterminisme sexuel des Basidiomycètes* (*Mémoire in-4° de l'Acad. Royale de Belgique*, [1923]).

(3) *Nouvelles recherches sur la sexualité des Basidiomycètes* (*Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, **56**, 1 [1923]).

(4) *Nouvelles recherches sur la bipolarité sexuelle des Basidiomycètes* (*Ibid.*, **57**, 1 [1924]).

(5) *Recherches expérimentales sur la bipolarité sexuelle des Basidiomycètes* (*Ibid.*, **57**, 1 [1924]).

(6) *Contribution nouvelle à l'étude de la sexualité des Basidiomycètes* (*La Cellule* [1924]).

(7) *Les résultats acquis au sujet de la sexualité des Basidiomycètes*, Congrès de Liége de l'Assoc. franç. pour l'avancement des Sciences (1924).

(8) *Les mutations sexuelles des Basidiomycètes* (*Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, **58**, 1, [1925]).

(9) *Recherches expérimentales prouvant la fixité du sexe dans « Coprinus radians ». Desm* (*Bulletin de la Société mycologique de France*, **41**, 3 [1925]).

(10) *L'hétérohomothallisme dans le genre Coprinus* (*Bull. de la Société Royale de Botanique de Belgique*, **57**, 2 [1925]).

(11) *La tétrapolarité sexuelle des Coprins* (*Ibid*, **58**, 2 [1926])

(12) *L'hétérohomothallisme et le critérium de spécificité basé sur la fertilité de races étrangères chez « Coprinus micaceus »*, Congrès de Lyon de l'Ass. franç. pour l'avanc. des Sciences (1926).

(13) *Les mutations sexuelles, l'hétérohomothallisme et la stérilité entre races géographiques de « Coprinus micaceus »* (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique* [1927]).

(14) *Le comportement sexuel du Coprin micacé dans ses rapports avec la dispersion de l'espèce* (*Bull. de la Soc. royale de Botanique de Belgique*, **60**, 1 [1927]).

(15) *A propos des mutations hétérohomothalliques chez les Champignons* (*Ibid.*, **61**, 1 [1928]).

(16) *Nouvelles recherches expérimentales sur le comportement sexuel de « Coprinus micaceus »*, 1[re] partie ; Mémoire in-4° de l'Académie royale de Belgique (1928).

(17) *Idem.*, 2[e] partie (en collaboration avec M. Gérard Robyn). *Ibid.*, (1929).

(18) *Comment résoudre le problème sexuel du Coprin micacé?* (*Bulletin de la Société royale de Botanique de la Belgique*, **61**, 2 [1929]).

(19) *Les relations entre souches étrangères expliquées par les aptitudes sexuelles des individus parthénogéniques chez « Coprinus Micaceus »* (*Bull. de la Soc. mycologique de France*, **45**, 3 [1929]).

(20) *La bipolarité sexuelle chez « Coprinus disseminatus » Pers.* (*Bulletin de la Société royale de Botanique de Belgique* [1930]).

(21) *La tétrapolarité et les mutations sexuelles chez « Hypholoma hydrophilum »* (*Ibid.* [1930]).

(22) *Où en est le problème du sexe chez les Hyménomycèles ;* Congrès d'Alger de l'Ass. franç. pour l'avancement des Sciences, avril 1930.

(23) *La conduite sexuelle des Hyménomycètes interprétée par les théories de Hartmann concernant la bisexualité et la relativité sexuelle.* (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique* [1930]).

(24) *Conduite sexuelle de* Psathyrella disseminata *et essais de détermination des valeurs relatives des réalisateurs sexuels sélon Hartmann.* (*Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* [1930]).

LA PÉNÉTRATION DU BLEU DE MÉTHYLÈNE DANS LES CELLULES D'« ELODEA CANADENSIS » RICH.

par Marcel HOMES,

Dr Sc., Assistant à l'Université de Bruxelles.

Lorsqu'une cellule végétale, ou un morceau de tissu ou mieux encore un fragment de plante aquatique simple est placé dans une solution d'un colorant vital, celui-ci pénètre dans la vacuole à suc cellulaire et s'y accumule à une concentration très supérieure à celle de la solution extérieure. La pénétration s'arrête quand un équilibre est atteint entre les concentrations extérieure et intérieure, équilibre déterminé par diverses conditions.

Deux éléments caractérisent ce phénomène de pénétration : d'une part, le rapport final de la concentration intérieure à la concentration extérieure (1), définissant le pouvoir que possède la cellule d'accumuler tel colorant; d'autre part, la vitesse de la pénétration.

Nous nous occupons ici de la vitesse de pénétration du bleu de méthylène dans les cellules d'*Elodea canadensis* Rich (2).

La vitesse de pénétration se déduit de la mesure des concentrations à intervalles donnés, ou, indirectement, de la mesure de la concentration extérieure seule, procédé moins rigoureux que la mesure directe, mais permettant de suivre le comportement ultérieur des plantes étudiées.

Lorsqu'on porte en graphique, en fonction du temps, la quantité de colorant présente dans la solution extérieure (dont on emploiera toujours un même volume, pour plus de commodité), on obtient une courbe indiquant la disparition du colorant de cette solution, c'est-à-dire sa pénétration dans la cellule (au signe près). L'expérience montre que cette courbe a une allure *exponentielle*, et le calcul permet d'établir la formule.

$$Q = (Q_o - Q_{éq.})\, e^{-at} + Q^{éq.}$$

dans laquelle

Q est la quantité de colorant présente dans la solution à un instant t;
Q_o la quantité présente au début de l'expérience ;
$Q_{éq.}$ celle présente lorsque l'équilibre est atteint ;
t le temps.

(1) Rapport appelé par Hoagland, dans le cas de la pénétration des sels, « facteur de concentration ».

(2) Au sujet de la forme sous laquelle pénètre ce corps dans la cellule, voir les controverses entre M. Irwin et M. Moldenhauer Brooks.

La vitesse de pénétration se déduit de cette formule par dérivation,

$$v = \frac{dQ}{dt} = -a\,(Q_0 - Q_{éq.})\,e^{-at}$$

La constante a, dans ces formules, donne l'allure propre de la courbe, c'est-à-dire définit la vitesse de pénétration dans telles conditions.

En pratique, v pourra se déduire directement des mesures de concentration par la formule

$$v = \frac{Q_1 - Q_2}{t_2 - t_1}$$

et a s'obtiendra en déterminant le coefficient angulaire de la droite établie en portant en diagramme, en fonction du temps, le logarithme népérien de la vitesse.

Quelques résultats de nos mesures sont résumés dans les tableaux suivants, où la vitesse de pénétration est exprimée en milligrammes par heure, et s'entend pour un morceau de plante défini par son volume (0,3 cm³) et sa surface (environ 20 cm² au total), ce qui correspond à un morceau de tige normale de 15 cm. environ.

1. *Vitesse de pénétration, pour une concentration extérieure initiale de 0,05 gr. par litre*

	Température				
Heure	2—5°	14—15°	17—18°	24—25°	28—29°
1re	0,20	0,30	0,45	0,50	1,25
2me	—	0,25	0,30	0,32	0,37
3me	0,16	0,20	0,25	0,27	0,18
4me	—	—	—	0,17	0,08
5me	0,13	0,14	0,13	—	0,04
6me	—	—	0,11	0,10	—
7me	0,09	0,09	0,09	—	00,1
8me	—	—	0,07	0,08	—
9me	0,06	0,08	0,05	0,06	—
10me	0,05	—	0,04	0,04	—
25me	0	0	0	0	0

2. *Vitesse de pénétration dans le cas d'une concentration initiale extérieure de 0,02 gr. par litre*

	Température				
Heure	2—5°	14—15°	17—18°	24—22°	28—29°
1re	0,09	0,10	0,22	0,22	0,50
2me	—	—	0,15	0,16	0,16
3me	0,08	—	—	0,12	0,07
4me	—	0,09	0,08	0,08	—
5me	0,07	0,08	—	—	0,02
6me	0,06	0,06	0,04	0,05	—
25me	0	0	0	0	0

La vitesse de pénétration du colorant au début du phénomène dépend donc directement de la concentration de la solution extérieure.

D'autre part, à tout instant, la vitesse de pénétration, définie par la constante *a*, dépend de la température. La détermination graphique, par le procédé décrit plus haut, de la constante *a* donne, en effet, les résultats suivants :

3. *Valeur de* a *en fonction de la concentration extérieure initiale et de la température*

Concentration initiale extérieure	Température				
	2—5°	14—15°	18°	24—25°	28—29°
0,05 gr./L.	0,11	0,17	0,25	0,31	0,76
0,02 gr./L.	0,10	0,16	0,27	0,30	0,80

Par conséquent la valeur de *a* ne dépend pas de la concentration extérieure, mais uniquement, *toutes choses égales d'ailleurs*, de la température.

Lorsqu'on porte en diagramme les valeurs de *a* en fonction de la température, la courbe obtenue semble, elle aussi, présenter une allure exponentielle. Il y aurait donc entre le phénomène de pénétration et la température une relation logarithmique du type $a = e^{kT}$, mais les données que nous possédons sont encore insuffisantes pour préciser cette relation.

La présence de sels dans la solution agit également sur le facteur *a*, c'est-à-dire que la vitesse de pénétration du bleu de méthylène dépend de la composition du milieu ambiant, aussi bien qu'elle dépend de la température.

4. *Pénétration en présence de divers sels présentés en solution de concentration totale 2 p. 1000. Valeurs de* a

Eau bidistillée sur verre	NaCl	KCl	NaCl + KCl	$CaCl_2$	KCl + $CaCl_2$
0,30	0,16	0,18	0,11	0,12	0,16

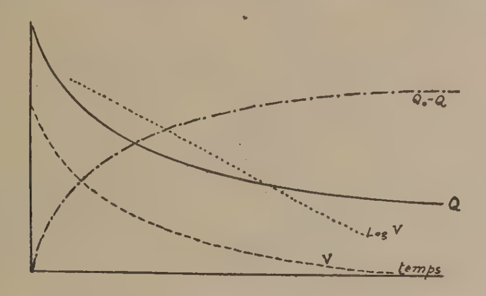
La méthode en question permet donc d'obtenir des renseignements sur l'action de diverses conditions sur la pénétration d'un corps dans la cellule végétale. Elle a d'autre part montré l'allure logarithmique du phénomène. Enfin, elle permet de se représenter cette vitesse de pénétration, dont l'ordre de grandeur, au début du phénomène, c'est-à-dire quand la cellule ne contient pas encore de colorant, est du dixième de milligramme par heure à travers une surface d'environ 20 cm^2.

Le *schéma* ci-dessous représente :

En trait plein, la courbe des valeurs de Q (quantité de colorant présente dans la solution) ;

En traits et points alternés, la courbe de pénétration (quantités) dans la cellule, qui se déduit de la première par différence ;

En trait interrompu, la courbe de la vitesse V en fonction du temps ;



En pointillé, la droite des logarithmes des vitesses en fonction du temps, droite dont le coefficient angulaire est le facteur *a*.

Toutes les valeurs de *a* correspondent à des vitesses exprimées en milligrammes par heure.

LA FLORAISON PRINTANIÈRE DU COLCHIQUE D'AUTOMNE

par Marc de SELYS LONGCHAMPS,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

Il y a une vingtaine d'années, il m'est arrivé de trouver incidemment, au mois de mai, dans des foins déjà grands, deux exemplaires du Colchique commun, qui, tout en présentant le feuillage normal pour la saison, portaient chacun une fleur bien développée. Les ayant communiqués au regretté Jean Massart, celui-ci s'était borné à me dire que le phénomène était connu, et je n'y avais pas attaché autrement d'importance.

Dans sa *Flore de Belgique*, Crépin signale en effet que certains Colchiques fleurissent accidentellement au printemps, constituant la variété *vernum*.

Au début de l'année 1928, après un hiver très clément, j'ai trouvé en abondance, dès le 5 février, des fleurs de Colchiques apparaissant, comme de coutume, sans aucun feuillage ; mais, dès le début d'avril, les fleurs, de plus en plus nombreuses, s'accompagnaient des feuilles, si bien qu'au milieu de mai (le 16 mai, date extrême) j'ai encore trouvé un exemplaire, long de 25 centimètres, comportant, au milieu des feuilles, une belle fleur, laquelle présentait pourtant cette anomalie que la pointe des pétales était verte.

La situation de ces Colchiques se trouve dans une prairie naturelle de

la vallée du Bocq, sur le territoire de la commune de Ciney, au lieu dit Liennes. Les Colchiques s'y trouvent en nombre immense, et c'est par centaines qu'ils ont donné des fleurs, depuis le début de février jusqu'à la mi-mai 1928.

Désirant vérifier si ces floraisons déréglées étaient bien, selon la version de Crépin, le fait de plants déterminés, j'ai, vers le milieu d'avril, transplanté et mis en observation, dans un endroit complètement dépourvu de Colchiques, un certain nombre de sujets en fleur, sans que leur végétation ait été en rien troublée. La floraison s'est achevée, tandis que les feuilles qui déjà pointaient, se sont normalement développées. Mais, à mon grand désappointement, il ne s'est pas formé de fruits. Les feuilles se sont ensuite flétries, et dès l'automne de la même année (1928) mes plantes ont donné de nouvelles fleurs. Au printemps des années suivantes, elles n'ont plus fleuri, mais ont produit des fruits normaux ; en ce moment (juin 1930) elles portent les fruits de leurs fleurs de l'automne dernier. Le rythme normal est donc retrouvé par les exemplaires mêmes qui s'étaient dérangés au printemps 1928. Ceci permet, je pense, de conclure formellement que la floraison printanière des Colchiques n'est aucunement le fait de certains individus, mais bien un accident, dont le déterminisme resterait à fixer. Le pré qui a donné les floraisons printanières ayant été pâturé à l'automne précédent, et fortement piétiné par le bétail, je ne puis m'empêcher de croire que l'origine du phénomène qui nous occupe serait traumatique, bien que la rigueur de l'hiver ait peut-être aussi son influence. Au printemps de 1929 et de 1930, j'ai en effet cherché en vain des floraisons de Colchiques, bien que le pâturage se soit continué, moins intense à vrai dire et avec chevaux ferrés en moins. Ma conclusion est en tout cas que la variété vernum (Schrank) Dumort. ne doit pas être maintenue.

L'ANATOMIE VÉGÉTALE

par A. GRAVIS,

Professeur émérite à l'Université de Liége

A l'occasion du soixante-quinzième anniversaire de notre indépendance nationale, une importante publication intitulée *Le Mouvement scientifique en Belgique* a remémoré la part prise par les Belges dans l'activité scientifique de 1830 à 1905. Chargé de la rédaction de la partie botanique, j'ai eu l'honneur de rappeler quelle fut la participation de nos concitoyens dans le progrès des connaissances relatives aux végétaux en analysant sommairement leurs œuvres.

Aujourd'hui, pour me conformer aux intentions du Comité organisateur de notre Congrès, et pour tâcher de rester dans les limites étroites qui nous sont assignées, je me bornerai à tracer ici comme le tableau raccourci des recherches botaniques effectuées en Belgique durant la période du centenaire que nous fêtons cette année. Je n'envisagerai que les travaux concernant l'anatomie des organes végétatifs considérés dans l'ensemble de leur architecture. Je ne m'occuperai pas des éléments anatomiques ultimes, des cellules, qui font l'objet d'une branche généralement désignée sous le terme *cytologie*. Plusieurs de nos confrères ont bien voulu s'en charger ainsi que d'autres chapitres de notre Science qui ont pris de nos jours une extension considérable.

Pour bien apprécier notre rôle, il est nécessaire de se rappeler quelle fut, dans les pays voisins, la marche des idées durant le siècle écoulé. Gœthe, A. P. de Candolle et Ch. F. Schimper sont les fondateurs de la morphologie végétale. Dès 1820, Gœthe avait nettement défini ce qu'il faut entendre par morphologie : « C'est la science de la forme, de la formation et des transformations des corps organisés ; car la forme est quelque chose de mobile, qui devient et qui passe. La science des formes est donc la science des transformations. Celles-ci sont à rechercher partout avec le plus grand soin, parce que le principe de continuité domine toute l'histoire naturelle » [1]. La seconde édition de l'*Essai sur la Métamorphose des Plantes*, de Gœthe, parut en 1831, avec traduction française par F. Soret.

Utilisant avec précision la notion des faisceaux libéro-ligneux que

(1) Ces idées sont conformes à la définition que l'illustre Ed. Van Beneden donnait en 1883 : « La Morphologie a pour objet la connaissance de la forme, de la structure et du développement des organismes dans le sens le plus large de ces mots ; son but est d'arriver à l'explication des faits par la constatation des causes prochaines ou éloignées qui les déterminent. »

Moldenhawer avait si exactement établie en 1812 par l'observation du Maïs, Mohl en 1830 avait mis en pleine lumière la structure des Palmiers. Il corrigeait d'une façon heureuse les erreurs de Desfontaines (1797) sur l'organisation des Monocotylédones comparée à celle des Dicotylédones, erreurs en partie rectifiées par Dutrochet (1821).

Schleiden (1845) distingua les « faisceaux fermés » et les « faisceaux ouverts ». Falkenberg (1875 et 1876) et Guillaud (1878) s'adonnèrent à l'anatomie des Monocotylées ; Lestiboudois (1848), Naegeli (1858), Hanstein (1859) s'occupèrent du parcours des faisceaux chez les Dicotylées. En 1877, A. de Bary, dans son *Vergleichende Anatomie der Pflanzen*, coordonna tous les résultats acquis en y ajoutant ceux de ses études personnelles.

L'anatomie des feuilles et celle des racines avaient attiré aussi l'attention des anatomistes : il suffit de rappeler ici les travaux de Naegeli (1858) et de Van Tieghem (1870) qui élucidèrent la structure primaire des racines.

C. Eg. Bertrand (1880) est l'auteur d'une théorie du faisceau remarquable par sa précision autant que par sa grande portée.

Des considérations basées sur la constitution des faisceaux et la symétrie de leur disposition permirent à Van Tieghem et à Bertrand de ramener toutes les parties d'une plante à trois membres : la tige, la feuille et la racine. La définition morphologique de ces membres est essentiellement anatomique et d'une grande netteté.

Des travaux de maints chercheurs s'est peu à peu dégagée l'idée de l'existence de caractères anatomiques résultant de l'adaptation (caractères spécifiques) et de particularités histologiques indépendantes des conditions du milieu (caractères de pure hérédité). C'est ainsi que les recherches d'anatomie végétale se trouvent actuellement mêlées aux discussions soulevées à l'occasion des théories de Lamarck, Darwin et de Vries, aux tâtonnements de la botanique systématique et aux recherches de physiologie.

De nos jours, la morphologie est cependant une science indépendante à laquelle les botanistes belges ont efficacement collaboré. C'est ce que je me propose maintenant de montrer par le rapide exposé qui va suivre.

La structure des Monocotylées, qui a si vivement préoccupé nos prédécesseurs au début de la période que nous considérons, a été plus complètement élucidée par les observations de A. Monoyer sur le *Cocos botryophora* (1925), et le *Livistona chinensis* (1927). Contrairement à ce qu'on croyait autrefois, la tige des Pamiers est susceptible, dans certains cas, de s'accroître diamétralement, mais le mécanisme de cet accroissement est totalement différent de celui de l'accroissement diamétral du tronc des Dicotylées.

En opposition avec ce type d'amplitude maximum, A. Monoyer a étudié l'anatomie simplifiée des *Scirpus* (1929). Il réussit à démontrer l'existence chez eux de caractères anatomiques répondant à un type héréditaire reconnaissable malgré les modifications adaptationnelles profondément accentuées.

Le pétiole du *Raphia vinifera* (1929), si utile aux indigènes du Congo,

possède des faisceaux d'une structure très particulière que A. Monoyer a très habilement constatée et dont il a indiqué les importantes fonctions.

Les plantules de Palmiers ont été étudiées par H. Michiels : elles ont montré, dès le jeune âge, la présence de caractères qui peuvent servir à les reconnaître (1900).

Comme suite aux travaux de Falkenberg, de de Bary et de Guillaud, A. Gravis a consacré une longue monographie au *Tradescantia virginica* qui l'a conduit à rectifier le type Commélinées qui avait été mal compris par l'école allemande (1898). En collaboration avec P. Donceel, il mit en parallèle ce type Commélinées et le type Palmiers qu'ils avaient retrouvé dans le *Chlorophyton elatum* (1900).

Une autre monographie consacrée à l'*Urtica dioica* a permis de préciser l'étendue des variations de la structure d'une plante considérée dans toute son étendue et à tous ses âges (1885). Elle a fourni, en même temps, un type d'organisation exceptionnelle des tissus secondaires.

L'*Amarantus caudatus* est un autre exemple de ce qui a été longtemps considéré comme une structure anormale (1907).

La question soulevée par Van Tieghem sous le nom de passage de la racine à la tige, a provoqué de longues controverses en France. Elle a suscité chez nous les recherches de Sterckx (1900) et celles de A. Gravis (1919 et 1920) qui ont montré qu'il n'y a ni passage ni torsion de 180°, mais en réalité de simples connections entre les tissus conducteurs des deux membres axiles de l'embryon.

Au point de vue de l'anatomie générale, la connaissance de l'histogenèse de la feuille doit compléter sa définition. L'origine des tissus foliaires a été plusieurs fois controversée chez nos voisins. Les observations faites par A. Gravis dans le *Tradescantia virginica* et autres espèces monocotylées et dicotylées semblent avoir amené l'accord ainsi que G. Bonnier l'a constaté (1907).

La nomenclature des faisceaux foliaires usitée dans les divers travaux d'anatomie exécutés à Liége permet de préciser exactement la composition des traces foliaires dans les tiges. Cette nomenclature a été exposée dans son ensemble lors de la séance extraordinaire tenue à Liége par la Société de Botanique de Belgique en 1909.

Il convient aussi de signaler quelques exposés synthétiques de vulgarisation, notamment : Anatomie et Physiologie des tissus conducteurs chez les plantes (1886) ; La Biologie végétale (1911) ; La Morphologie végétale (1920) ; L'édification de nos connaissances et la théorie de l'adaptation (1927) ; Gamétophore et Sporophore (1927) ; Les plantes aphylles (1929) ; La Méthodologie de la Botanique (1912) ; Les Eléments de Morphologie végétale (1920) ; Les Eléments de Physiologie végétale (1921).

Dans l'exposé de ces divers sujets, on a tenu à mettre en relief les rapports étroits qui unissent les caractères morphologiques externes et internes avec les caractères éthologiques qui, dans le règne végétal, manifestent souvent une si curieuse harmonie.

Outre les travaux dont l'énumération vient d'être faite, l'Ecole de Liége

a produit de nombreuses monographies anatomiques qui ont été publiées dans les sept volumes des *Archives de l'Institut botanique de l'Université de Liége* (1897 à 1928) et dans un huitième volume intitulé *Recueil de Travaux d'Anatomie végétale*. Citons :

Le *Carludovica plicata* par H. Michiels (1900) qui a mis en évidence la structure des organes végétatifs et des organes reproducteurs de cette plante.

Le *Ranunculus arvensis* par Ed. Nihoul (1891). L'architecture de cette espèce annuelle est d'une remarquable simplicité.

Le genre *Delphinium* par C. Lenfant (1897). La structure de quatre espèces a été comparée par l'étude détaillée de leurs embryons, plantules et plantes adultes scrutées dans toutes leurs parties.

Le genre *Thalictrum* par A. Mansion (1897). L'étude très complète de plusieurs espèces de ces plantes a permis notamment de réfuter l'erreur commise par G. Bonnier qui, se bornant à photographier l'aspect de deux coupes, prétendit, en 1889, qu'il fallait attacher peu d'importance aux différences anatomiques qu'on a cherché à établir entre les Monocotylées et les Dicotylées.

Le *Clematis vitalba* par R. Sterckx (1897) est une autre contribution à l'anatomie comparée des Renonculacées.

L'*Apios tuberosa* et l'*Helianthus tuberosus* produisent des tiges souterraines remarquablement tubérisées dont la structure erronément comprise par divers auteurs, a été correctement décrite par P. Nypels.

Les téguments séminaux des Renonculacées (1907 à 1927) ont été l'objet de la part de H. Lonay de longues et patientes recherches. En établissant d'une façon rigoureuse leur histogenèse et leur structure à l'état de maturité, l'auteur a rédigé des diagnoses d'une telle précision qu'elles permettent de reconnaître les genres et souvent même les espèces dans cette famille.

Les ovules et les graines des Polygonées ont été scrutés à ce même point de vue en même temps qu'à celui des fonctions de reproduction.

L'anatomie comparée des feuilles, dans la famille des Renonculacées (1901), a été habilement scrutée par J. Goffart. Loin de bouleverser les classifications établies par les systématiciens, les caractères anatomiques foliaires confirment les travaux classiques en fournissant des arguments contre la dislocation des genres et la pulvérisation des espèces.

H. Lonay a scruté attentivement l'histologie et l'histogenèse du cotylédon et des feuilles de l'*Ornithogalum caudatum* (1907) : il a reconnu la production de bulbilles normales et de bulbilles adventives.

Le même auteur a fait connaître aussi la production de bourgeons adventifs sur le pétiole de l'*Haemanthus* (1927) et leur structure. Celle-ci l'a conduit à la découverte d'une catégorie de faisceaux qu'il a nommés « satellites libéro-ligneux » (1928).

Le *Corydalis solida* par Mlle E. Fritsché (1914) : le tubercule de cette curieuse plante n'est ni une tige, ni une racine ; c'est une masse de tissus libéro-ligneux secondaires parenchymateux. Son mode de formation, qui

n'avait jamais été bien établi, résulte de l'apparition d'une nouvelle zone cambiale au sein de la précédente, en-dessous du bourgeon de remplacement.

Le *Taraxacum officinale* (1914) et le *Tussilago Farfara* (1930) par Mlle E. Fritsché : l'étude des plantes les plus communes peut fournir des résultats très intéressants lorsqu'elle est faite en combinant l'anatomie à l'éthologie et en exécutant des expériences conçues judicieusement.

Le genre *Ranunculus* a fourni au même auteur l'occasion de rappeler très heureusement les notions fondamentales sur lesquelles reposent la notion du genre et celle de l'espèce (1914).

Le *Crinum capense*, par M. Borieux (1914). Les conditions particulières de la pollinisation semble entraîner ici la très curieuse structure des graines de cette plante et les phénomènes exceptionnels de leur germination. Une étude anatomique très soignée et d'ingénieuses expériences de physiologie ont donné les explications cherchées. Rappelons notamment l'allongement souvent considérable du pétiole cotylédonaire et le fonctionnement tout à fait particulier des stomates à la surface du suçoir qui le termine.

Le *Soliva anthemidifolia* par R. Chaînaye (1927). Cette espèce du Brésil n'avait jamais fait l'objet d'observations de laboratoire. Au cours d'une étude anatomique et éthologique très attentive, il a été constaté que ce qui distingue surtout cette Composée aberrante c'est la constitution de ses fleurs et leur mode de pollinisation. Celle-ci est une sorte de cléistogamie à l'intérieur du capitule.

Dans l'*Iriartea exorrhiza* (1927), R. Bouillenne a constaté que les premières racines adventives produites par la jeune plantule de semis, sont grêles et ont une structure normale, tandis que les suivantes, produites par des plantes de plus en plus âgées et vigoureuses, sont de plus en plus grosses et de structure de plus en plus aberrante. C'est un curieux exemple d'application de la loi de Serres, dite aussi loi de Fritz Müller.

Chez le *Crinum capense* (1927), les modifications de structure qui provoquent le raccourcissement des racines et l'enfoncement du bulbe en terre ont fait l'objet d'observations précises de A. Gravis.

La nature morphologique des cladodes des Ruscées (1928) a été fort controversée chez nos voisins. Décidément, il faut les considérer comme étant les préfeuilles de rameaux avortés ainsi que L. Joyeux l'a nettement établi. Quant aux inflorescences, elles se forment adventivement à l'une des faces ou sur les bords de quelques-unes de ces préfeuilles. Dans certaines espèces, les plantules présentent des exemples de répétition phyllétique.

Le *Kleinia articulata* par D. Rousseau (1930). Il s'agit ici d'une autre Composée aberrante : la constitution anatomique de ses tiges et de ses feuilles d'une part, leur mode de végétation d'autre part, semblent démontrer que cette espèce est en voie d'adaptation à la sécheresse par une aphyllie progressive.

Le *Genista radiata* par A. Gravis (1930). Bien que produisant des

feuilles éphémères, cette Papilionacée possède une structure anatomique xérophile des mieux caractérisée. Elle produit, en outre, des bourgeons de nature adventive qui, apparaissant régulièrement, au fond de poches spéciales, suppléent aux feuilles hâtivement caduques et aux rameaux normaux rudimentaires.

Le *Plantago Coronopus* par A. Gravis (1930). Connue comme très polymorphe, cette espèce produit, dans certaines stations, une forme naine pédocarpique. Des cultures expérimentales jointes à des observations anatomiques ont permis de déterminer les causes de cette variation et ont fourni des arguments en faveur de la théorie de Lamarck.

Les Pipéracées étudiées par D. Rousseau (1928) ont fourni la matière d'une importante monographie dans laquelle ont été rectifiés les résultats d'un travail analogue exécuté trop hâtivement dans une Ecole étrangère généralement réputée cependant.

Les Asparaginées ont fait l'objet de deux importants mémoires de L. Joyeux (1929 et 1930). Dans cette famille, les cladodes, dont la valeur morphologique axile a été préalablement bien établie, possèdent une histologie en rapport manifeste avec l'éthologie des diverses espèces. Il en résulte des caractères microscopiques précis utilisables en Botanique systématique.

Contribution à l'anatomie et à l'éthologie des Monocotylées aquatiques (1928) : couronné par l'Académie Royale de Belgique, cet important mémoire de A. Monoyer s'occupe de divers genres de plantes d'eau douce, d'eau saumâtre et d'eau de mer. Pour chacun d'eux, l'auteur a envisagé plusieurs espèces dont il a dégagé le type ; il a suivi leur évolution ontologique et présumé leur évolution phyllétique. Les caractères auxquels il a fait appel ne sont pas des détails histologiques analogues à ceux qui ont jusqu'ici fixé l'attention de la plupart des anatomistes ; ce sont des distinctions basées sur la considération des traces foliaires et des diverses catégories de faisceaux. Il s'agit donc réellement des grands traits de l'architecture des végétaux envisagés. Ces données seront certainement utilisées ultérieurement.

CONCLUSIONS

Les auteurs des travaux que nous venons de rappeler ne se sont pas bornés, ainsi que le faisaient généralement leurs prédécesseurs, à décrire certaines particularités visibles dans des coupes faites çà et là dans les organes adultes. Par la méthode des coupes successives pratiquées dans des objets convenablement fixés et inclus, ils ont étudié les plantes dans toute leur étendue à divers âges en tenant compte des conditions de leur vie. Leurs résultats ont été nettement exprimés par des dessins schématiques et non pas par des photographies qui ne reproduisent qu'une apparence souvent imprécise, ainsi que H. Lonay l'a fait remarquer à juste titre (1914). En recherchant le parcours des faisceaux et en négligeant les détails sans importance, ils ont mis en évidence les traces foliaires ; ils ont dégagé le plan architectural dans son ensemble et ont pu fournir

ainsi des faits qui prouvent réellement l'existence de types qui proviennent de l'évolution même du règne végétal. Ils ont corrigé certaines erreurs commises par les anatomistes qui, en France comme en Allemagne, se sont bornés à la méthode simpliste de coupes transversales isolées et de l'éclaircissement des parties jeunes par la potasse. Ainsi ont été réfutés les reproches faits aux botanistes anatomistes qui ont cru pouvoir prématurément énoncer des résultats généraux.

C'est ce que A. Monoyer a montré récemment dans une étude très judicieuse sur *Les Variations vasculaires dues à la manière d'être des feuilles et l'établissement des types de structure* (1929). Ses critiques viennent à leur heure, en cette année jubilaire où les organisateurs de ce Congrès ont démandé des vues synthétiques dans les divers domaines de notre Science.

Je ne terminerai pas sans adresser des remerciements et des félicitations à tous mes collaborateurs. Je suis heureux de constater que par leur intelligence et leur travail ils ont su conquérir une place honorable parmi les savants qui, dans tous les pays, rivalisent d'efforts pour accentuer la marche progressive du savoir humain.

LE DÉVELOPPEMENT DES ÉTUDES PHYTOPATHOLOGIQUES EN BELGIQUE

par Em. MARCHAL

Directeur de la Station de Phytopathologie de l'Etat.

La Phytopathologie (ce mot étant pris dans son sens restreint et servant à désigner le domaine des maladies des plantes reconnaissant pour causes des parasites végétaux ou des actions physiologiques) est une science récente.

Basée essentiellement sur la connaissance des organismes que seul le microscope permet d'étudier, elle n'a pris son réel essort que le jour où la théorie pasteurienne eut familiarisé les biologistes avec l'idée de l'intervention d'éléments parasitaires dans l'étiologie des maladies transmissibles.

C'est dire que l'histoire de la Pathologie végétale ne commence réellement que vers la fin du siècle dernier.

Toutefois, dans un aperçu historique du développement des études phytopathologiques en Belgique, on ne peut omettre d'évoquer la mémoire des mycologistes, dont les travaux antérieurs à cette époque, ont apporté des matériaux importants à la connaissance des parasites des plantes et parmi lesquels les noms de Mlle J. Libert, de J. Kickx et de G. D. Westendorp brillent d'un éclat tout particulier.

Les premiers botanistes belges que l'on puisse qualifier de phytopathologistes sont incontestablement les regrettés Émile Laurent et Paul Nypels.

Émile Laurent (1861-1904), docteur en sciences naturelles, professeur de Botanique à l'Institut agronomique de Gembloux, occupe un rang éminent parmi les biologistes belges.

Au cours d'une carrière scientifique particulièrement brillante et à laquelle son dévouement à la cause de notre expansion coloniale devait apporter, hélas, une fin prématurée, Emile Laurent a abordé, avec son habituelle maîtrise, plusieurs problèmes importants de Phytopathologie.

En 1899, sous le titre de « Recherches expérimentales sur les maladies des plantes » (1), il établit que le développement de beaucoup de parasites des végétaux se trouve sérieusement influencé par les conditions de nutrition minérale de l'hôte, en sorte que la composition du sol et sa fertilisation retentissent très manifestement sur l'extension des maladies cryptogamiques.

(1) *Annales de l'Institut Pasteur*, **13** (1899).

Parmi les éléments du milieu chimique qui semblent intervenir le plus énergiquement dans ce sens, Laurent place la « réaction ».

Cette notion précisée ultérieurement par deux élèves d'Emile Laurent, L. LEPOUTRE, dans ses « Recherches sur la transformation expérimentale de bactéries banales en races parasites des plantes »[2] et L. HAUMAN, dans une étude intitulée « Contributions à l'étude des altérations microbiennes des organes charnus des plantes »[3], fécondée dans la suite par la découverte par les physico-chimistes de méthodes précises de détermination de la concentration des ions H, constitue aujourd'hui un des éléments les plus importants de la connaissance du mécanisme de l'immunité chez les végétaux.

En 1900, LAURENT publie dans le *Bulletin de l'Agriculture de Belgique* une étude intitulée : « De l'influence du sol sur la dispersion du Gui et de la Cuscute en Belgique. »

Il y consigne les résultats d'une vaste enquête qui a été menée sous sa direction en Belgique et dont les données permettent de conclure à l'existence de rapports entre la présence du calcaire dans le sol et l'abondance du Gui sur les arbres. Ainsi se trouvait confirmée, pour cet hémiparasite, la théorie de l'influence de la nutrition minérale que Laurent venait d'établir pour les parasites intégraux.

Dans ce même travail, Laurent fait connaître une particularité extrêmement intéressante de la biologie du Gui, à savoir que lorsque l'on sème des graines de cette Loranthacée sur les pousses de certaines variétés de Poirier, ces pousses se flétrissent peu après la germination du parasite et tombent, emportant avec elles l'indésirable plantule.

Ce sacrifice d'organes et de tissus menacés, qui rappelle les cas d'autotomie animale, est apparu, dans la suite, comme une des manifestations caractéristiques de la résistance active des végétaux à l'égard de beaucoup de parasites cryptogamiques (Sphéropsidées, Rouilles).

On doit encore à Emile Laurent diverses autres contributions importantes à l'étude de maints problèmes phytopathologiques.

Indépendamment de son intervention directe, personnelle, dans les progrès de la Phytopathologie en Belgique, il faut être particulièrement reconnaissant à Emile Laurent d'avoir suscité la création, dans son laboratoire, d'une ébauche de service de recherches et de consultations sur les maladies des plantes cultivées, service dont il confia la charge au signataire de cet aperçu historique. Ce service fonctionna tout d'abord purement officieusement de 1894 à 1900, époque à laquelle il reçut la consécration officielle. En 1910, le Service phytopathologique était érigé au rang de Station de Phytopathologie. Nous en résumerons tout à l'heure l'activité.

Paul NYPELS (1865-1909), docteur en sciences, assistant, puis conservateur au Jardin Botanique de Bruxelles, est, à coup sûr, en Belgique, le savant qui s'est, à la fin du siècle dernier, consacré de la façon la plus exclusive au développement des études phytopathologiques.

(2) *Annales de l'Institut Pasteur*, **14**, 304 (1902).
(3) *Ibid.*, **25**, (1913).

Dès 1894, dans une note intitulée « A propos de Pathologie végétale » [4], il attire l'attention sur le problème de la protection des plantes cultivées contre leurs ennemis et préconise la création d'une institution de recherches phytopathologiques en Belgique.

Pour promouvoir l'idée, il suscite la constitution, au sein de la Société Royale de Botanique, d'une « Commission de Pathologie végétale », dont il sera l'animateur et qui disparaîtra d'ailleurs avec lui.

Nypels, sans attendre la réalisation de son projet de création d'un centre de recherches spécial pour l'étude des maladies des plantes, se met courageusement au travail et recueille, sur toute une série de problèmes phytopathologiques, des observations très importantes qu'il consignera sous les titres de « Notes pathologiques » puis de « Maladies des plantes cultivées », dans les publications de la Société Royale de Botanique et de la Société de Microscopie.

Dans la suite, Nypels s'occupera plus spécialement des parasites des arbres.

Observateur sagace et consciencieux, P. Nypels aurait certes, dans la suite, exercé une influence prépondérante sur le développement de la Phytopathologie en Belgique, s'il ne s'était trouvé bientôt mis hors d'état de travailler par la longue et pénible maladie qui l'emportait en 1909.

Entretemps, l'inventaire de la flore cryptogamique, et spécialement celle des Champignons, se poursuit activement grâce surtout aux travaux des botanistes défunts, Elie Marchal, Mouton, le Père Pâques et surtout de Mmes Bommer et Rousseau.

Des contributions très importantes à la connaissance des Champignons parasites des plantes en Belgique ont été fournies par le Père H. Vanderyst qui a ultérieurement continué à déployer en terre africaine une très fructueuse activité dans la recherche botanique.

Actuellement, trois laboratoires coopèrent en Belgique à l'étude des problèmes phytopathologiques : le Laboratoire de Cryptogamie appliquée de l'Université de Louvain, où le professeur chanoine Biourge et ses collaborateurs déploient une grande activité, notamment dans l'étude des bactérioses de la Pomme de terre, le Laboratoire de Phytopathologie de la « Landbouwhoogeschool » de Gand, dont le directeur M. Van Hove a son labeur essentiellement orienté vers les questions que soulève l'inspection phytopathologique, service dont il assume la direction, et enfin la Station de Phytopathologie, à Gembloux, un des éléments de la Station Agronomique de l'Etat.

Celle-ci, malgré des moyens tout à fait insuffisants, s'est efforcée de rendre les services que, dans un pays agricole comme le nôtre, on est en droit d'attendre d'une institution de ce genre.

Elle a pu dépister l'apparition en Belgique des principales épiphyties nouvelles et notamment l'introduction de l'Oïdium américain du Groseillier (*Sphaerotheca Mors-uvae*), du Mildiou du Houblon (*Pseudoperonos-*

(4) *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, **70**, 77 (1894).

pora Humuli) et de la Gale noire de la Pomme de terre (*Synchytrium endobioticum*).

Elle s'est appliquée à l'étude de divers problèmes de Phytopathologie, notamment de la « Brûlure du Lin », de la spécialisation du parasitisme chez les Erysibacées, de l'immunisation interne par voie chimique contre les parasites, de l'étude des Champignons des fruits, et, tout récemment, de celle des maladies dites « à virus filtrants ».

Elle a abordé diverses questions pratiques, telle celle de la désinfection des graines de Céréales et suscité l'adoption dans le pays de la méthode par poudrage au carbonate basique de cuivre contre la Carie du Froment.

Quoi qu'il en soit, il se dégagera certes de cet aperçu de l'état actuel des recherches phytopathologiques en Belgique, cette impression générale que notre pays n'apporte pas dans ce domaine, à l'avancement des idées, une contribution comparable à celle que fournissent, même, toutes proportions gardées, les autres pays.

Cela tient sans doute à ce fait que notre territoire n'a guère connu de ces épiphyties cryptogamiques dont les conséquences, vraiment désastreuses, s'imposent à l'attention et contraignent les pouvoirs publics à s'émouvoir et à agir.

Aujourd'hui, cependant que l'Agriculture se débat sous les étreintes d'une crise aiguë, il convient impérieusement, pour améliorer les conditions de la production, de développer largement dans notre pays les possibilités de recherches phytopathologiques.

Ce qui est vrai pour l'étude des maladies des plantes en Belgique, l'est encore davantage pour ce qui concerne notre grande colonie africaine. La Phytopathologie et sa science sœur, l'Entomologie appliquée, constituent des auxiliaires essentiels de la production végétale dans les colonies.

Ici encore, le champ des investigations est largement ouvert et doit faire appel à l'activité de nombreux chercheurs spécialisés.

LES TRAVAUX SUR LA GÉNÉTIQUE BOTANIQUE, EN BELGIQUE, JUSQU'EN 1930

par V. LATHOUWERS,

Professeur de Botanique à l'Institut Agronomique de l'Etat, à Gembloux.

En vue de donner une idée claire de l'activité des savants belges dans le domaine de la Génétique — cette importante discipline des Sciences biologiques, qui ne date que de 1900 — nous envisagerons successivement les diverses sections dans lesquelles cette activité a pu se manifester.

I. — *Les bases matérielles de l'hérédité. La théorie chromosomique. Nombre de chromosomes dans les espèces végétales.*

A l'occasion de leurs mémorables recherches sur la sexualité chez les Mousses, Elie et Emile MARCHAL signalaient déjà (1907-1911) le fait si important de la *proportionnalité* directe entre le nombre de chromosomes d'une part, le volume du noyau et des cellules et même de certains organes, principalement des organes sexuels, d'autre part.

Dès 1908, dans un remarquable mémoire *sur les fondements cytologiques des théories courantes sur l'hérédité mendélienne*, V. GRÉGOIRE admet l'individualité chromosomique à travers toute l'ontogenèse du végétal, et la transmission des chromosomes paternels et maternels, reçus par un organisme, aux cellules mères des tétrades gamétiques formées par cet organisme, attribuant ainsi aux chromosomes un rôle important dans la transmission héréditaire des divers caractères spécifiques. Il affirme, d'autre part, que les chromosomes paternels et maternels ne sont pas tous représentés dans chaque cellule sexuelle, faisant ainsi intervenir ces organites d'une manière prépondérante dans les disjonctions mendéliennes. En revanche, le savant cytologiste n'admet pas la théorie des particules représentatives chromatiques ou achromatiques ni, par conséquent, la possibilité d'un échange de particules lors des enlacements chromosomiques (Théorie de la « *Chiasmatypie* » de Janssens et du « *Crossing-over* » de l'école de Morgan).

D'ailleurs, dans deux mémoires sensationnels sur *les limites du Mendélisme* (1925) et sur *le rôle des chromosomes en Génétique* (1927), V. GRÉGOIRE développant largement les idées émises par lui dès 1908, continue à combattre certaines théories cytologiques et mendéliennes qu'il juge outrancières. Tout en admettant les formules des disjonctions mendéliennes normales, Grégoire nie la soi-disant allure mendélienne que quelques génétistes

veulent donner à la variabilité désordonnée qui suit un croisement interspécifique. Ne mendélisent que les caractères que l'auteur appelle *oppositifs*, différenciations particulières provoquées par certaines substances dites *différentielles* émises par les chromosomes ou *caryoplastes* ; les caractères dits *typiques* ou *inoppositifs*, ceux qui régissent le mode global du développement ontogénique, ne suivent pas, dans les générations qui succèdent à une hybridation, les lois mendéliennes des disjonctions.

Dans son deuxième mémoire, Grégoire applique aux monohybrides une conception nouvelle personnelle de l'activité chromosomique : continuant à considérer les chromosomes comme des *plastes*, il répartit la matière chromatique en chromosomes *dominants* et en chromosomes *récessifs*, ces derniers altérés, défectueux, se montrant incapables de fournir au protoplasme les substances différentielles et de portée générale dont nous avons parlé plus haut.

La négation par Grégoire de l'existence de particules chromatiques a été corroborée par son élève Martens (1922-1927) au cours de l'importante série de ses travaux sur *le cycle des chromosomes somatiques chez* Paris *et* Listera et de ses délicates *Observations vitales de la caryocinèse* ; l'auteur affirme que la bipartition chromatique ne résulte ni d'une alvéolisation axiale, ni de la bipartition individuelle de chromomères disposés linéairement le long d'un filament achromatique. Martens, en revanche, a observé *in vivo* la persistance morphologique des structures chromosomiques d'une cinèse à l'autre.

Disons encore que Em. Marchal a fourni, en 1920, une contribution des plus importantes à l'étude de *la variabilité numérique des chromosomes chez les végétaux.* Ayant déterminé le nombre chromosomique chez 78 espèces botaniques, chez lesquelles aucune détermination de ce genre n'avait encore été faite, il conclut qu'à l'intérieur des familles et des genres, les séries chromosomiques régulièrement progressives s'expliquent par la polymérisation chromosomique procédant de la division longitudinale équatoriale des chromosomes primitifs, alors que les séries à allure désordonnée peuvent provenir du fractionnement transversal des chromosomes. Toutefois, l'inégale distribution des chromosomes aux pôles de la figure achromatique, et l'hybridation entre formes à nombres chromosomiques différents peuvent être, elles aussi, une source abondante de nombres chromosomiques aberrants.

II. — *Disjonctions mendéliennes anormales par interactions factorielles*

Une double contribution à l'étude de certaines disjonctions compliquées a été fournie par V. Lathouwers, en étudiant la transmission héréditaire des diverses colorations chez *Campanula Medium* (1921) et la constitution génétique de certaines *variations speltoïdes* apparues dans les lignées pures de *Triticum vulgare* (1924).

Les cinq colorations possibles chez la Campanule des jardins (blanc, rose, lilas, bleu, violet) peuvent s'expliquer par l'interaction de *quatre* fac-

teurs agissant en divers sens ; pour provoquer une coloration quelle qu'elle soit, il faut la collaboration d'une anthocyanine et d'un révélateur ; d'où la possibilité de diverses sortes de blanc (par absence d'anthocyanine, par absence de révélateur, par absence simultanée des deux facteurs), se comportant différemment selon qu'elles sont engagées dans telle ou telle combinaison hybride. D'autre part, un suc cellulaire acide détermine, en présence de l'anthocyanine ou du révélateur, l'apparition du rose et du lilas, un suc de réaction alcaline provoquant au contraire les colorations bleu ou violet. Enfin, la présence d'un facteur complémentaire spécial, une oxydase sans doute, fait virer le rose au lilas, le bleu au violet. Toute une série de croisements nous a donné la formule disjonctive suivante : 112 individus blancs, 81 violets, 27 bleus, 27 lilas et 9 roses, formule qui n'est autre que celle d'un tétrahybride, modifiée par les interactions factorielles. Je pense qu'ici fut appliquée pour la première fois la combinaison des formules de Correns (*Mirabilis Jalapa*) et de Bateson (*Lathyrus*).

Au cours des longs et patients essais de fixation de lignées pures à l'intérieur des diverses populations horticoles de cette plante allogame et par surcroît bisannuelle, apparut une belle mutation typique, *Campanula Medium mut. monantha*, à tige non ramifiée, portant une seule grande fleur terminale.

En 1924, l'auteur après avoir étudié les générations successives de deux variantes d'allure speltoïde, apparues dans une lignée pure de *Triticum vulgare* et analogues aux mutations speltoïdes de l'école scandinave, établit qu'il s'agissait, en l'occurrence, non pas de mutations mais d'effets de croisements spontanés entre *T. vulgare* et *T. Spelta.* La disjonction obtenue à la F 2, et confirmée par la F 3, c'est-à-dire : 4 *vulgare*, 9 speltoïdes, 3 *Spelta* est celle d'un dihybride modifiée par l'interaction factorielle d'un facteur de « speltation » et d'un facteur « diluant » ce caractère.

Actuellement sont en observation quelques nouvelles variantes speltoïdes frappées d'une stérilité plus ou moins prononcée et qui semblent devoir leur origine à des aberrations dans les nombres chromosomiques.

III. — *Hérédité du sexe. Sexualité. Aposporie*

En 1906, les Marchal, père et fils, publièrent les résultats de leurs recherches sur la sexualité des spores chez les Mousses dioïques. Partant de cultures monospores, ils établirent que chaque spore d'une même capsule, est unisexuée, mâle ou femelle, et que chaque spore, par l'intermédiaire de son protonéma, transmet à la génération suivante sa polarité sexuelle propre.

De 1907 à 1911 virent le jour les mémorables travaux de Elie et Emile Marchal sur *l'aposporie et la sexualité chez les Mousses*, travaux qui eurent un grand retentissement dans le monde scientifique international. En provoquant l'évolution végétative du sporogone avant le synapsis réductionnel, ils réussirent à obtenir directement, aux dépens des cellules du pédicelle et des parois capsulaires diploïdes, un protonéma aposporique diploïde par

conséquent lui aussi et capable de fournir, chez les espèces monoïques, un sporophyte tétraploïde, produisant à son tour, après réduction, des spores diploïdes fixant la nouvelle race bivalente. Ces individus bivalents ont, par régénération d'un nouveau protonéma aux dépens du sporogone tétraploïde, produit des mousses tétraploïdes ; celles-ci, toutefois, se sont montrées d'une vitalité affaiblie et ont été stériles.

En 1923, les Marchal signalent *l'homothallisme* chez sept espèces de champignons Sordanées fimicoles.

Enfin, de 1923 à ce jour, se sont succédés les remarquables travaux de Vandendries sur *la sexualité des Champignons supérieurs* en général, des Coprins en particulier.

Ces travaux de Vandendries ont eu tout d'abord pour résultat la découverte des espèces *bipolaires*. C'est le biologiste belge qui, le premier, a pu assister, sous le microscope, à la *conjugaison* entre filaments de sexe différent et en voir surgir une végétation fertile diploïde, munie d'organes spéciaux appelés *anses d'anastomose*. Ses nombreuses cultures monosporées lui ont permis d'établir expérimentalement le rôle des *oïdies*, cellules minuscules destinées à propager l'individu haploïde ; c'est encore lui qui signale en premier lieu les dérogations aux lois de Kniep concernant les croisements entre individus d'une même sporée ; il confirme l'existence des *carpophores parthénogéniques* signalés par l'auteur allemand, observe de nombreuses mutations sexuelles dont il détermine l'orientation et fait une étude approfondie d'une mutation dite *hétérohomothallique* par laquelle une culture monosporée haploïde mute en végétation diploïde à anses d'anastomose. L'auteur belge prouve, pour les espèces bipolaires, *la loi de fertilité générale* entre individus issus de souches étrangères l'une à l'autre et parvient à démontrer que parmi des souches pas trop distantes (quatre kilomètres) le même sexe peut cependant se rencontrer. Ses essais de croisements ont montré que, contrairement à ce qui se passe chez les populations assez rapprochées qui se montrent fertiles, les souches *très distantes* sont frappées de *stérilité*, phénomène nouveau dans l'histoire des Basidiomycètes. L'auteur admet que ces phénomènes sont dus à la présence d'un facteur héréditaire non mendélisant dont l'existence permet le jeu des facteurs kniepiens et dont la mutation profonde chez un individu donné enlève à celui-ci toute aptitude sexuelle à l'égard des populations non mutées. Ainsi seraient créées les souches stériles entre elles.

L'auteur est parvenu à confirmer cette hypothèse en saisissant sur le vif des mutations pareilles dans des sporées *parthénogéniques*.

IV. — *Biométrie. Variabilité*

Marchant sur les pas de l'illustre Quetelet, deux biologistes belges, Mac Leod (1896-1919) et De Bruyker (1898-1910), se sont attachés à l'étude de la variabilité chez les végétaux et à sa mesure par des procédés arithmétiques et géométriques.

V. — *Génétique appliquée à la Phytotechnie*

Signalons, dans ce domaine, *le Manuel de l'Amélioration des Plantes de grande culture* (Méthodes, Bases scientifiques, Technique) par Lathouwers (1924), dont une deuxième édition, en quatre tomes, est en cours de publication.

VI. — *Divers*

Pour terminer, groupons encore quelques noms d'auteurs belges qui, occasionnellement, ont étudié ou vulgarisé quelque question de Génétique : Massart, Deneumostier (1905-1912 : Sélection et variabilité chez les Plantes cultivées), Marchal, Em. (1911 : Les bases matérielles de l'Hérédité ; 1913 : Les chimères chez *Solanum*) ; Martens (1926 et 1928 : La biologie florale des Orchidées) ; Houzeau de Lehaie (1926 et 1928 : Variabilité désordonnée chez les Orchidées) ; De Wildeman (1926 : La question de l'Espèce.)

Si la Belgique ne possède pas encore jusqu'à ce jour, comme l'Allemagne, l'Angleterre, les Etats-Unis, la Hollande, le Japon, la Russie et la Suède, un ou plusieurs centres spécialisés, d'où rayonnent sans trêve en une inépuisable activité les travaux sur l'Hérédité, nous voyons que notre petit pays peut cependant s'enorgueillir, dans les divers domaines de cette discipline, de toute une série de travaux apportant une collaboration des plus intéressantes à l'œuvre commune et dont quelques-uns même ont su s'imposer à la Science mondiale.

LA BOTANIQUE CONGOLAISE DEPUIS 1830

par É. DE WILDEMAN,

Professeur à l'Université de Gand.
et Directeur du Jardin botanique de l'Etat, à Bruxelles.

Si le nom de « Congo » a paru en 1816 déjà dans la littérature botanique, à la suite de l'expédition africaine du capitaine anglais Robert Tuckey qui avait pris à bord de son navire un botaniste, Chr. Smith, ce n'est guère que dans la deuxième moitié du siècle dernier que la connaissance de la Flore congolaise a fait de sérieux progrès. Ceux-ci furent d'abord les résultats des explorations d'étrangers, puis après la fondation de l'Association africaine et celle de l'État indépendant du Congo, promulguée le 1er juillet 1885, ceux des herborisations d'une grande série de botanistes parmi lesquels figurent de nombreux Belges.

En 1896, Th. Durand, avec la collaboration du professeur H. Schinz, du Jardin botanique de Zurich, publia le premier catalogue de la Flore congolaise, accueilli dans les Mémoires in-8° de l'Académie des Sciences de Belgique.

Ce catalogue réunissant toutes les données bibliographiques sur les plantes signalées à cette époque au Congo, ne représentait pas l'herbier africain conservé au Jardin botanique de l'État à Bruxelles ; cet herbier était composé vers 1896, dans l'ancienne grande salle des herbiers, devenue le Musée forestier, d'une dizaine de paquets.

Depuis 1896 les collecteurs, stimulés par l'État indépendant du Congo et le ministère des Colonies, firent affluer à Bruxelles des matériaux des plus remarquables.

Parmi les premiers Belges qui ramenèrent des plantes de l'Afrique, il suffira de rappeler le nom du peintre anversois Fr. Hens, qui collectionna en Afrique en même temps que des études de peinture, une série de plantes intéressantes.

Vers cette époque, le roi Léopold II, Souverain de l'Etat indépendant du Congo, décida de participer à l'Exposition internationale de Paris en 1900 et fit commencer les mémorables publications du Musée de Tervueren qu'il avait créé.

Fr. Crépin, directeur du Jardin botanique, désirant, à la demande de l'État indépendant du Congo, faire participer le Jardin botanique à cette efflorescence de la Science belge, nous pria, Th. Durand et moi, de nous occuper de la flore congolaise.

De 1897 à 1903, nous fîmes paraître avec l'aide de collaborateurs étrangers, en onze fascicules, les matériaux floristiques sur la Flore du Congo (1), et en 1900 lors du Congrès de Botanique de Paris, nous pûmes y présenter une nouvelle liste, déjà plus étendue que la première, des plantes congolaises.

L'histoire du développement de nos connaissances sur la flore congolaise a été exposée dans ses lignes générales par Th. Durand dans le discours lu le 16 décembre 1909 en séance publique de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique ; puis dans l'introduction du *Sylloge Florae Congolanae*, publié en 1909. Ce dernier donnait l'énumération de toutes les plantes signalées jusqu'à la fin du XIXe siècle dans notre colonie.

Depuis lors, les publications sur la flore congolaise se sont multipliées, le nombre des espèces végétales s'est accru, tant en nouveautés pour la flore du pays que pour la Science.

Si en 1896 le Jardin botanique de Bruxelles possédait 12 paquets seulement de plantes africaines, en 1909 le chiffre atteint déjà 1.200 et, actuellement, notre Herbier du Congo, le plus riche du monde pour la flore de l'Afrique centrale, comprend environ 2.000 paquets renfermant au moins 125.000 feuilles. Il reste de très nombreuses plantes à intercaler, dont l'étude systématique n'est pas terminée, elles augmenteront fortement les statistiques.

En 1896, Th. Durand et Schinz signalaient 951 espèces ; à Paris, nous en relevions 1.922 ; en 1900, Th. Durand dans son *Sylloge* cite 3.546 Phanérogames, auxquelles il faut ajouter 690 Cryptogames soit un total de 4.236.

Pendant la guerre, en 1918, M. Goossens, qui dirigea depuis le Jardin botanique d'Eala (Congo), travaillant au Jardin botanique, releva toutes les plantes signalées dans notre Afrique centrale ; il put noter 6.372 Phanérogames et 1.025 Cryptogames, soit en totalité 7.397 espèces (2).

Une totalisation n'a plus été faite depuis, mais le nombre que l'on obtiendrait actuellement serait de beaucoup supérieur ; il dépasserait sans conteste 10.000.

Si on compare en effet les acquisitions pour certains genres, on verra, comme nous l'avons signalé ailleurs en 1925, que la plupart des genres ont augmenté en espèces de plus de 50 % (3).

Mais en même temps que les renseignements systématiques et statistiques se multiplient sur la flore du centre africain, nous cherchions à établir quelques données de géobotanique et essayions de distribuer les plantes en un certain nombre de districts botaniques.

(1) Th. Durand et E. De Wildeman, *Matériaux pour servir à la Flore du Congo*, II, 1897-1903, *Bull. Soc. roy. de Bot. de Belgique*.

(2) Mme Goossens, qui s'est occupée depuis en Afrique de la recherche des Champignons, a fourni à l'Herbier de Bruxelles, une ample contribution, étudiée par M. Beeli.

(3) De Wildeman, *Considérations sur l'état actuel des connaissances relatives à la géobotanique du Congo belge*. Congo, mai-juin 1925.

Nous proposions ainsi, après Durand [4], à titre provisoire, 10 districts floristiques se classant dans les deux grandes provinces géobotaniques que le professeur Engler avait récemment établies dans le centre africain : Province forestière guinéenne et Province des Steppes australes et orientales, tout en faisant ressortir que la délimitation de ces districts floraux ne peut être établie définitivement encore. Il nous manque trop de données que seule pourra fournir une exploration botanique de plus en plus serrée.

Les études portèrent aussi sur certaines des zones floristiques, en particulier sur la forêt congolaise [5], sur la zone septentrionale du Congo, pays des Bangala et Ubangi [6], et sur celle du Katanga [7], ces dernières grâce à l'aide qui nous fut accordée par le Comité Spécial du Katanga.

Si Th. Durand put citer, dans son « Sylloge », un grand nombre de Belges qui intervinrent largement dans l'établissement de nos connaissances actuelles sur la flore congolaise parmi lesquels il put mettre en relief : Alfred Dewèvre, Émile Laurent [8], découvrant le *Coffea robusta* qui fait la fortune de nos voisins du Nord, Marcel Laurent, à qui il conviendra toujours de rendre le plus grand hommage, nous devons ajouter parmi les disparus que Th. Durand n'a pu connaître : Vermoesen, ayant voyagé au Congo et Conservateur du Jardin botanique de l'État à Bruxelles, et le Comte J. de Briey [9] qui a fait une remarquable étude botaniqne du Mayombe et fut un des premiers à juger sainement la question forestière. Il nous fut malheureusement enlevé à la fleur de l'âge, par la guerre, en 1914.

Il faut en outre signaler très particulièrement les récoltes faites en Afrique, à deux reprises différentes, par le Dr J. Bequaert, ancien élève de l'Université de Gand et Professeur à la Harvard University. L'étude de cette documentation, une des plus belles de celles constituées en Afrique, est loin d'être terminée, elle a permis la publication de données floristiques et critiques réunies en plus de 4 volumes sous le titre de « Plantae Bequaertianae » [10].

Nous ne pouvons insister ici sur les Missions du Prince de Mecklenburg, ni sur des collecteurs plus modernes ou des voyages récents dont les résultats ne sont pas connus.

Si pendant des années, succédant à Th. Durand, j'assurai, avec la collaboration de certains botanistes étrangers au Jardin botanique, la défi-

(4) De Wildeman, *Documents pour l'étude de la Géobotanique congolaise*, 1 vol., 406 p. 117 pl. (*Soc. roy. de Bot. de Belgique*, 1913, vol. jubilaire.)

(5) De Wildeman, *Les forêts congolaises et leurs principales essences économiques.* Bruxelles 1926. Bibliothèque Congo, 29.

(6) De Wildeman, *Etude sur la Flore des districts des Bangala et de l'Ubangi.* Bruxelles 1911, 1 vol., 465 p., 2 fig., 20 pl.

(7) *Contribution à la Flore du Katanga et Suppléments.* Bruxelles, Comité spécial du Katanga, 1921-1927, 3 vol.

(8) De Wildeman, *Mission Em. Laurent*, 2 vol., 1905-1907. Bruxelles, Etat Indépendant du Congo, 617 pp., 225 pl.

(9) De Wildeman, *Mission forestière et agricole du Comte J. de Briey au Mayombe.* Bruxelles, 1920, Ministère des Colonies, 1 vol., 468 pp., 15 pl.

(10) De Wildeman, *Plantae Bequaertianae*, t. I à V, fasc. I, Gand 1921-1929.

nition des plantes congolaises reçues en Belgique, j'ai eu le plaisir de voir, depuis la guerre, quelques Belges : Vermoesen, disparu trop tôt ; M. Beeli (Champignons) et M. Naveau (Muscinées) s'occupant de Cryptogamie ; M. Robyns, chargé de Mission au Congo et Conservateur du Jardin botanique de l'État, entreprendre l'étude de la flore de notre Colonie et aider ainsi à faire connaître, de mieux en mieux, les belles collections accumulées à Bruxelles, grâce à l'intervention des Directions des Services de l'État indépendant du Congo et de notre Ministère des Colonies.

La grande importance des herbiers congolais réunis à Bruxelles se fait d'ailleurs sentir par les demandes nombreuses qui nous sont faites par les étrangers ; tous se sont rendu compte qu'aucune étude sur la flore du centre africain ne peut être faite sans l'examen des matériaux conservés à Bruxelles.

Le travail accompli sur la Flore africaine durant notre siècle d'indépendance et en particulier depuis 1897, est des plus considérable ; si le « Sylloge » de Durand n'est plus en 1930 à la page, s'il est nécessaire de faire de ce travail classique une édition refondue, il ne faudrait pas oublier qu'il fut le premier du genre sur la flore de l'Afrique centrale ; à ce point de vue il marque une date dans l'histoire de la botanique en Belgique.

Si nous pouvons être satisfaits du résultat obtenu, nous devons aussi reconnaître qu'il reste beaucoup à faire.

A nos Universités, à nos Institutions scientifiques : Jardin botanique et Musée de Tervueren, reste la lourde tâche de former des Chargés de Missions botaniques capables d'accumuler des matériaux permettant aux botanistes métropolitains, qui devront être de plus en plus nombreux, de résoudre les questions biologiques et systématiques surgissant dans l'étude de cette flore tropicale et de mettre, de mieux en mieux, en valeur les études floristiques et systématiques relatives à la flore de la Colonie que nous devons au génie de Léopold II.

LA BOTANIQUE SYSTÉMATIQUE EN BELGIQUE DEPUIS 1830

par L. HAUMAN,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

La Belgique a donné à la Botanique fort peu de systématiciens. En effet, les floristes belges, fort nombreux et dont l'œuvre, certes, fut utile, s'étaient limités à l'étude de notre pays, lequel n'est qu'un tout petit morceau de cette Europe moyenne dont, dès 1830, la flore phanérogamique, sauf en ses genres « difficiles » que nos compatriotes n'attaquèrent que trop timidement ou trop tard, était déjà bien connue. Dans ces conditions, même lorsqu'ils publièrent comme Dumortier, Strail, Crépin, Durand, Wesmael et quelques autres, des « Monographies » des espèces belges d'un de nos genres, la floristique ne pouvait guère les conduire jusqu'à la vraie systématique, et c'est ainsi que leurs noms ne restent accolés au nom d'aucun de nos genres, très rarement à celui d'une de nos espèces vasculaires, un peu plus souvent, celui de Lejeune par exemple, au nom d'une variété.

Il faut donner une place spéciale, cependant, à B. Dumortier qui tenta dès 1822 (il avait 25 ans) l'audacieuse entreprise de dresser un système nouveau du règne végétal, décrivit un grand nombre d'espèces et de genres nouveaux, indigènes et exotiques, dont quelques-uns ont été conservés, et réalisa dès 1831, la première monographie générale écrite par un de nos compatriotes, celle des Jungermanniées.

Nous arrivons ainsi à ceux de nos botanistes qui, en esprit au moins, franchirent le cercle étroit de nos frontières, et l'on peut considérer ici trois sortes de travaux :

1° *Les publications d'espèces isolées.* — Nous trouvons ici les Morren, père et fils, qui publièrent un grand nombre d'espèces nouvelles et représentent très dignement chez nous cette catégorie de botanistes, nombreuse au siècle passé, qui nommèrent et décrivirent par centaines, des espèces exotiques introduites dans les jardins et les serres ; Edouard Morren, le fils, s'était même fait un nom comme spécialiste des Broméliacées dont il avait réuni à Liége une collection vivante extrêmement remarquable. Ces travaux qu'accompagnaient souvent de fort belles planches, conservent leur valeur et leur utilité. Mentionnons encore Joseph Linden, auteur avec plusieurs collaborateurs, de l'*Hortus Lindenianus.*

2° *Les monographies générales comprenant toutes les espèces d'une famille ou d'un genre.* — Nous trouvons ici nos vrais systématiciens : Dumortier et ses Jungermanniées, déjà citées, Spae et sa monographie du genre *Lilium* (1846), Lecoyer avec celle du genre *Thalictrum* (1885), J. E.

Bommer qui s'occupa des Fougères (1866), Crépin qui consacra trente-cinq ans de sa vie à une monographie du genre *Rosa*, sans en avoir publié que des fragments ; son herbier a, fort heureusement, été repris par M. Boulanger auquel nous devons déjà sur ce genre extra-difficile d'importantes publications. Je rappellerai aussi que le médecin allemand, F. A. Spring, professeur à l'Université de Liége et ayant reçu comme tel la grande naturalisation, fut en son temps le monographe des Lycopodiacées (1842-50). Mais il me tarde d'arriver au seul grand systématicien qu'ait produit la Belgique, à Alfred Cogniaux (1841-1916), le seul Belge qui ait collaboré aux grands recueils universels avec sa monographie des Cucurbitacées (1881), un modèle du genre, et celle des Mélastomacées (1891), parues toutes deux dans les *Suites au Prodrome* de De Candolle ; une révision, complètement mise à jour de ses Cucurbitacées, avait commencé à paraître dans le *Pflanzenreich* quand la mort vint le frapper.

3° *Des ouvrages d'un type intermédiaire.* — Je réunis ici les œuvres locales mais se rapportant à des régions assez vastes ou étudiant des flores assez peu connues pour que leurs auteurs y aient fait œuvre à la fois de floristes et de systématiciens. Sans nous arrêter au nom de Scheidervil-ler (1839), de Martens et Galeotti (1845), de Linden (1853), qui s'occupèrent un peu des flores de l'Amérique centrale et de la Colombie, nous retrouvons le nom de Cogniaux avec sa collaboration à la *Flora Brasiliensis* de Martius, cette œuvre monumentale — une trentaine de volumes in-folio — un des plus beaux monuments que l'homme ait élevé au culte de la Nature, à laquelle collaborèrent soixante-cinq botanistes de neuf nations d'Europe, et dont Cogniaux écrivit, de 1878 à 1906, à peu près la sixième partie ; il y rédigea les Cucurbitacées, les Mélastomacées et surtout les Orchidées, qui remplissent trois énormes volumes. L'œuvre immense de Cogniaux, chez nous trop peu connue, est cependant à l'étranger la gloire principale de la botanique belge. Comme tous les grands travaux de systématique, elle assure à son auteur une gloire universelle et durable. Un autre Belge, Elie Marchal, fit pour la *Flora brasiliensis* la petite monographie des Araliacées.

Il faut enfin mentionner les résultats, encore en partie à paraître, de la Mission scientifique de M. Massart au Brésil (1922-1923), où l'avaient accompagné nos confrères Bouillenne, Ledoux et Navez.

L'auteur de ce rapport consacra à la flore mal connue encore de la République Argentine où il a séjourné vingt ans, de nombreuses publications, les unes floristiques, comme le Catalogue de ses Phanérogames (Gymnospermes à Crucifères) interrompu par son retour au pays natal, les autres de systématique, d'autres encore de géobotanique, attachant ainsi un nom à l'histoire botanique d'un coin éloigné de la planète.

J'arrive enfin à la botanique congolaise : s'il faut citer parmi les disparus Emile Laurent, un des pionniers de l'exploration botanique de notre colonie et l'une de ses victimes, Dewèwre, Vermoesen et surtout Th. Durand (*Conspectus Florae Africae* en collaboration avec Schinz et, avec celle de sa fille, *Prodrome de la flore congolaise*, 1909), et mentionner parmi les derniers venus M. Robyns, le nom qui domine complètement ce

paragraphe est celui de M. De Wildeman : ses nombreux travaux de floristique et de systématique d'une part (il s'est occupé des groupes les plus divers : Graminées, *Dioscorea*, *Alchemilla*, *Ficus*, etc.) et ses grands ouvrages de géobotanique d'autre part, font de lui une des premières autorités contemporaines pour la flore de l'Afrique centrale.

Tel est, en dehors de la flore belge, le bilan de nos systématiciens et de nos phytogéographes.

Je pourrais m'arrêter ici, mais je vais essayer de tirer de cette brève étude une philosophie peut-être utile. Certes, le bilan que nous venons d'établir est honorable, mais très inférieur pourtant, par le nombre de ses travailleurs surtout, à ce dont peuvent s'enorgueillir des pays comparables au nôtre par leur population. C'est que, depuis cinquante ans bientôt, la systématique a pour ainsi dire disparu de notre enseignement vraiment supérieur, et cette branche des sciences naturelles, dont on peut dire pourtant qu'elle est à la fois la base et le couronnement de toutes les autres, ne jouit pas chez nous — et le fait nous est commun avec la France — du prestige qui lui est réservé en d'autres pays. Je ne crois pas qu'on puisse citer chez nous une seule thèse de doctorat sur un sujet relevant de la systématique. On objectera que ce genre de travail n'initie pas le débutant à une technique de laboratoire, — ce qui n'est pas tout à fait exact : l'histologie, la cytologie et même la biochimie étant couramment employées par les systématiciens, — mais par contre on peut dire que peu de disciplines sont aussi favorables à l'apprentissage du travail méthodique, et qu'aucun autre terrain ne donne plus de probabilité — car c'est ici presque une certitude — de faire produire aux jeunes gens des travaux utiles et de valeur durable. Tout ceci n'aurait pas une très grande importance sans doute, si la Belgique n'avait pas le Congo. Mais la Belgique a le Congo, ce qui lui donne certes des avantages considérables, mais aussi des devoirs et des besoins : le devoir de défricher scientifiquement le morceau de notre globe dont elle a pris la responsabilité, le besoin de connaître, pour pouvoir mieux l'exploiter, la flore de sa colonie.

Jusqu'ici, grâce à l'œuvre énorme de M. De Wildeman, le devoir a été rempli et le besoin satisfait. Mais on ne peut nier qu'il nous manque un noyau de jeunes gens ayant une notion précise de ce que sont les recherches de systématique — notions, je le sais d'expérience, qu'il n'est pas facile d'acquérir dans l'isolement — et que la Belgique, qui ne fait que commencer l'étude scientifique et l'exploitation rationnelle de son immense colonie, manquera de systématiciens. Il y a là un danger certain. Je crois donc utile d'attirer l'attention de notre haut enseignement sur ce point d'une certaine gravité, mais comme, pour des raisons complexes, il n'y a peut-être pas grand'chose à espérer de ce côté, je me permets de soumettre à la section botanique le texte d'un vœu à transmettre à la séance plénière de ce Congrès, vœu tendant à ce qu'*un enseignement de la Botanique systématique soit créé au Jardin Botanique de l'Etat.*

L'INSTITUT DE BOTANIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GAND

(1919-1930).

par C. DE BRUYNE,

Professeur à l'Université de Gand.

L'activité scientifique de cet Institut, placé pendant de longues années sous la direction de feu Mac Leod, fut brusquement interrompue par la guerre ; quelques années auparavant, le Dr De Bruycker y avait préparé une thèse sur le problème de la mutation; elle lui valut la bourse de voyage.

Mac Leod mourut en 1919 très peu de temps après l'apparition de son grand ouvrage *The quantitative Method in Biology* rédigé à Manchester, pendant que se perdaient à son domicile, réquisitionné durant l'occupation, les notes précieuses réunies pendant des séries d'années et constituant le résultat de longues et patientes recherches.

J'ai repris la succession de ce grand Botaniste, après m'être préparé à la carrière zoologique (embryologie) et j'ai trouvé à l'Institut, par lui créé, le vide absolu, tant au point de vue didactique que du personnel scientifique. L'indigence de l'établissement était telle, qu'il a fallu créer et installer tout à nouveau et faire appel à la jeunesse studieuse, peu attirée par l'avenir que pouvait offrir, à cette époque, la carrière de botaniste scientifique.

Lentement il y fut répondu et voici le résumé des travaux entrepris ; je laisse la parole à chacun de mes collaborateurs pour la publication de ses résultats.

Le premier, M. J. Gillis, docteur en Sciences chimiques, vint préparer une thèse de doctorat en Botanique. Sur mes indications, il s'intéressa à la question de la formation des substances ternaires chez les végétaux autotrophes verts, et s'est proposé de vérifier et de contrôler les résultats peu précis de Bockorny. Cet auteur s'était adressé à des végétaux supérieurs, tels que *Géranium*, etc., auxquels il administra des solutions organiques. Gillis, au contraire, donna la préférence à des Algues parce qu'il était plus aisé — et plus important — d'administrer des aliments orga-

niques sans qu'il y eût à craindre une altération avant leur arrivée dans la plante. Voici comment d'ailleurs, il s'exprime, en résumé :

Conclusions résumées: Chez diverses espèces de spirargyra à l'obscurité, auxquelles il administra divers sucres à la dose de 1 %, il vit se former de l'amidon. Il en fut de même quand l'expérience se faisait à la lumière, mais en l'absence de CO_2. D'autres substances organiques ne donnèrent aucun résultat. Toutefois en employant des solutions très étendues de formaldéhyde, à l'obscurité, il a obtenu des résultats positifs.

Ce fut encore un chimiste, M. le docteur A. De Clercq, qui entreprit plus tard des recherches sur un autre sujet physiologique : l'action des narcotiques sur la marche de la fonction chlorophyllienne. Les végétaux qu'il mit en expérience furent *Elodea canadensis* et *Ceratophyllum submersum*.

Conclusions résumées :

1° Chez les plantes aquatiques, les solutions dont la concentration est supérieure à 0,1 % de chlorof. et 1 % d'éther ne produisent pas l'accélération de l'assimilation chlorophyllienne. On constate une diminution de cette activité et des phénomènes d'intoxication, ou les deux en même temps.

2° A des concentrations inférieures à 0,1 % de chlorof. et 1 % d'éther, se manifeste un état narcotique vrai caractérisé par sa réversibilité.

Mlle Polderman, aujourd'hui Mme Ballion, a entrepris une série de recherches sur la morphologie des mycorhizes endotrophes, signalés d'abord par Schicht et Stahl chez un grand nombre de végétaux, étudiés ensuite morphologiquement par Janse dans les plantes de la forêt tropicale, et systématiquement observés dans les racines de très nombreuses plantes de nos pays occidentaux, par le botaniste morphologiste français Gallaud. Elle a largement étendu ce champ d'investigation dans nos régions, dans les serres froides des Jardins botaniques de Gand et de Bruxelles : elle a débité en coupes sériées les racines des plantes humicoles et put ainsi établir la topographie du champignon à l'intérieur des tissus et sa morphologie.

Celui lui permit de confirmer la classification proposée par Gallaud :

1° Type du *Jasminum*
2° Type de l'Asphodeline

infection facultative et irrégulière ;

3° Type des Orchidées : infection constante et régulière.

Elle poursuivit ensuite, par la méthode comparée, l'étude des organes

et de leurs fonctions au cours de l'évolution du champignon, les rapports réciproques des deux organismes, etc.

L'isolement de l'endophyte des types 1 et 2 n'a jamais rien donné ; le mycélium du 3, le plus intéressant du fait de l'infection constante, s'obtint plus facilement en culture pure en le prélevant sur des plantules où il existe à l'état jeune et florissant.

L'absence de mycélium dans les graines d'Orchidées et sa présence constante dans les jeunes plantules a fait naître l'idée que le champignon était nécessaire à la germination des orchidées (Noël Bernard).

Etudiant à son tour les conditions de la germination des graines d'Orchidées, Mme Ballion a fait des premiers essais, consistant à inoculer à des graines préalablement stérilisées et semées aseptiquement, le Rhyzoctone spécifique de virulence déterminée, obtenu en culture pure (méthode de Noël).

Dans le but de suppléer à l'action du champignon, elle procéda à l'ensemencement de solutions gélosées nutritives stériles. Elle réussit parfaitement et a pu exposer plus tard de nombreuses cultures évoluant de façon normale. Pendant des années, elle a continué ces observations dans une serre de l'Institut, qui fut exclusivement affectée à la poursuite systématique de ses études.

Mlle De Geest, docteur en Sciences botaniques a fourni une « Collaboration à l'étude du processus nutritif du boyau pollinique chez les Abiétinées ». Voici les conclusions auxquelles elle est arrivée : « Le grain de pollen germe directement sur le micropyle où il trouve une substance mucilagineuse suintant au sommet du nucelle. Dès avant cette germination, cet organe se désorganise en cet endroit. L'étude du phénomène et de sa signification physiologique a montré : 1° que la dégénérescence en question produit ladite substance mucilagineuse ; 2° que son produit est employé à la nutrition du boyau pollinique. »

La dégénérescence débutant dès avant la croissance (germination) du boyau, l'on peut supposer que la cause initiale est locale ; l'auteur n'a pu révéler l'existence d'enzymes produites par le protoplasme du boyau, ainsi que d'aucuns en ont suggéré l'idée. En faisant usage de lugol, elle a pu assister aux stades successifs de la solubilisation des grains de fécule qui s'y trouvent en grande abondance.

Les auteurs classiques se contentent de dire que le boyau « perce » (durchwachst) le tissu, sans ajouter aucun détail au sujet du processus physiologique qui s'y déroule. Le travail de Mlle De Geest apporte donc un peu plus de lumière à ce sujet.

Treub découvrit la Chalazogamie chez *Casuarina* et plus tard Nawaschin en fit l'étude chez d'autres Casuarinées, et une série d'autres Monochlamydées, constituant un groupe de formes inférieures d'Angiospermes. Le boyau pollinique traverse un tissu nourricier — nucellaire — tout comme dans le cas étudié dans le travail dont il est question, qui constitue, dans une forme primitive, l'origine d'une porogamie inférieure qui dans ses allures, rappelle la chalazogamie.

Voici brièvement esquissé le résultat d'un travail de *phyto-géographie* effectué par M. Van Langendonck en vue de sa prochaine épreuve de doctorat en Sciences botaniques :

I. L'analyse qualitative des associations végétales des « schorres » et des « slikkes » de l'Escaut a montré que la concentration du sel marin joue un rôle principal dans la répartition locale des espèces.

II. L'étude physiologique au sujet des halophytes a donné les résultats suivants :

a) L'évaporation est considérable, calculée d'après l'unité de surface d'évaporation ;

b) L'intensité de l'évaporation dépend de la concentration du sel marin dans le sol ;

c) La surface-volume des halophytes et leur évaporation sont inférieures à celles des mésophytes ;

d) Le degré de succulence et la pression osmotique sont plus élevés chez les végétaux de la « Slikke » que chez ceux de la « Schorre ».

e) Les halophytes ne sont pas des mésophytes, encore moins des hydrophytes. Ils sont assez voisins des Xérophytes.

Il existe une grande diversité de vues au sujet du processus nutritif de l'oosphère des Gymnospermes. A mon tour, j'en ai entrepris l'étude chez deux Abiétinées : *Pinus Strobus* et *P. Laricio*. Voici le résumé de mes conclusions :

La paroi orchégoniale constituée de cellules prothalliales (endospermiques) fournissent le matériel nutritif de l'ovule : cytoplasme et noyau y découlent en quelque sorte après avoir subi des phénomènes de dégénérescence débutante : les noyaux y conservent pendant quelque temps leur individualité ; vus par beaucoup d'anatomistes ils furent différemment — et erronément — interprétés. Les cellules pariétales sont ensuite remplacées par d'autres cellules endospermiques : Ce remplacement ne se fait jamais par multiplication cellulaire.

J'ai étudié la question si controversée de la descendance des monocotylées. Dérivent-elles des dicotylées ou des gymnospermes — ont-elles apparu avant les dicotylées? Voici succinctement résumées mes conclusions.

Aux nombreuses particularités anatomiques communes aux Monocotylées et aux Polycarpicées, je crois pouvoir signaler chez celles-ci un caractère monocotylaire, notamment la présence, dans l'endoderme de la racine, des cellules à parois épaissie en fer-à-cheval et d'autres — cellules de passage — situées à la hauteur des faisceaux limeux.

Résumant mes recherches entreprises pendant plusieurs années sur les « thylles » et « thylloïdes » tant au point de vue anatomique que physiologique et pathologique, j'arrive à la conclusion que sous quelque forme qu'elles se présentent, ces formations sont destinées à boucher les canaux aériens, les espaces intercellulaires et les voies d'eau, à l'époque où l'entrée ou le transport d'eau peuvent y être nuisibles.

Voilà, en résumé, les sujets principaux de recherches faites au Laboratoire de Botanique de l'Université de Gand dans les dix dernières années. Les résultats en constituent peut-être une modeste contribution à l'avancement de la Science.

GROEIKROMMEN VAN TRITICUM VULGARE, HORDEUM VULGARE, SECALE CEREALE, AVENA SATIVA, IN VERBAND MET GROEI-(SNELHEIDS-) KROMMEN IN HET ALGEMEEN [1].

door Dr M. C. SCHUYTEN.

Voorbemerking

De tegenwoordige stand van het groeivraagstuk wordt typisch weergegeven door zekere onbevangen uitlatingen der literatuur :

« *Lässt sich das Pflanzenwachstum mathematisch erfassen?* » vraagt PINCASS in *Die Naturwissenschaften*, 1929 ;

« *Our knowledge of growth phenomena is so deplorably unadequate at present* », zegt de verslaggever van BOSE's laatste boek in *Nature* 125, 1930. En de einde 1929 verschenen *Etude sur la croissance des Plantes* van Demozay, die onweerstaanbaar op de rechtelijn-kromme moet ingaan, en deze terugvindt ook op het terrein der niet-levende natuur, is mede een merkwaardig verschijnsel.

Wij stonden op het standpunt van Demozay van in den aanvang onzer bemoeiingen met het groeivraagstuk, en zijn tot dezelfde gevolgtrekkingen gekomen als hij. En vermits vanzelfsprekend ons proefmateriaal heelemaal anders is dan het zijn, en van dit volledig onafhankelijk werd opgebouwd, wordt hierdoor de aantrekkelijkheid van onderhavig onderwerp niet weinig verhoogd en verkrijgt dit een wetenschappelijke waarde die men niet alle dagen ontmoet.

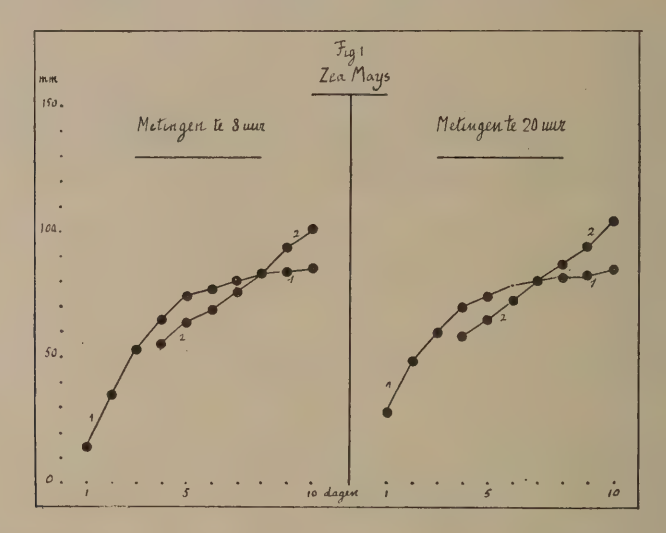
Onze Proeven

Als inzet van onze beschouwingen wendden wij ons ditmaal speciaal tot het Plantenrijk.

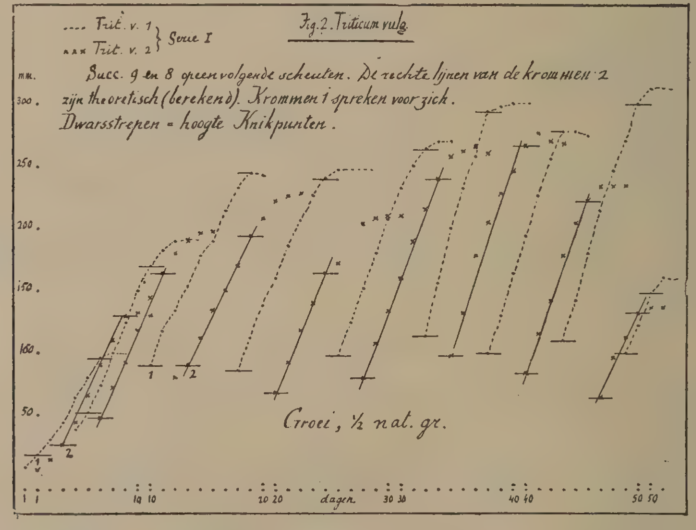
1. *Voorproeven op Zea Mays.* — Dadelijk namen wij ons voor de lengten van al de scheuten te meten, ons niet tevreden te stellen met een enkelen scheut. Het resultaat was dat wij voor het gansche individu, bij een watercultuur, door samenvoeging van het hoofdgedeelte der afzonderlijke krommen, de groei in het rechthoekig coordinatensysteem door één enkele rechte lijn konden voorstellen. Deze proef liep over een tiental dagen. Een tweede meer uitgebreide cultuur liep over bijna 90 dagen, en al de

[1] Korte inhoud.

succ. scheuten, ten getale van 7, werden gesommeerd. Weer was de totale voorstelling van den groei duidelijk de rechte lijn (fig. 1).



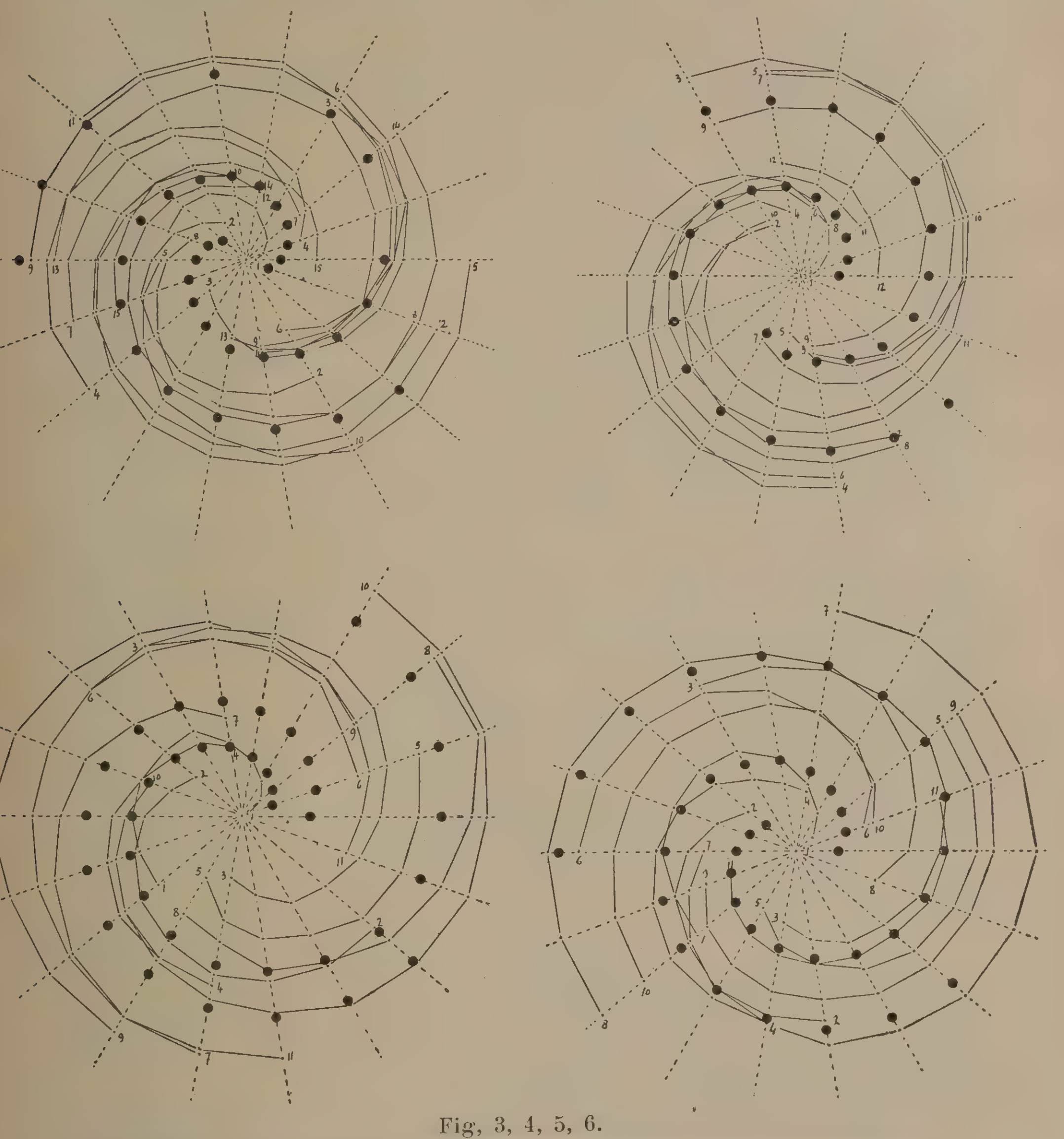
2. *Voorproeven op Triticum vulg.* — Twee exemplaren op dezelfde wijze als hiervoor behandeld, gedurende 50 dagen ongeveer, lieten toe hetzelfde rechtelijn-verschijnsel op te stellen (fig. 2).



3. *Beslissende proeven op Triticum vulg., Secale cereale, Hordeum vulg. Avena sativa.* — Wij brachten, steeds op dezelfde wijze, een tiental zaden van elk dezer soorten tot kieming, en namen de metingen waar, rechtstreeks met een millimetermaat, gedurende verscheidene maanden, tot nagenoeg de groeikracht was verdwenen. In gewone krommen gezet waren de verkregen rechte lijnen meestal zeer mooi. Buiten de knikpunten, die men

steeds waarneemt in den beginne en bij het einde van elk groeiproces, is de bekende formule $y=kx+k'$ hier algemeen van kracht.

Wij vinden steun hieromtrent als wij de krommen in Archimedesspiralen opstellen. Dan bemerken wij bevredigend parallelisme met de ideale voorstelling $r=a\times\Theta$. En tevens een belangrijke merkwaardigheid : dat de scheuten voor elk graangewas in twee goed te onderscheiden bundels voor den dag komen. In het rechthoekig coordinatensysteem is dit verschijnsel veel minder opvallend of wordt zelfs niet bemerkt (fig. 3, 4, 5, 6).



Fig, 3, 4, 5, 6.
(In elke figuur zijn de zwarte bollen=de twee theoretische Archimedesspiralen.)

Kritisch Overzicht

1. Auxanometers, crescographen, interferometers, hadden wij niet tot onze beschikking. De eerste belemmeren echter vrij ernstig den vrijen groei der scheuten ; de crescographen (Bose) wegens hun buitengewone gevoeligheid kunnen verdacht voorkomen ; en de laatste (Messmer), waarover wij nog niet voldoende zijn ingelicht, zullen vermoedelijk dezelfde uitslagen als door Bose verkregen opleveren. Praktisch scheen ons de rechtstreeksche meting het veiligste, op voorwaarde het « gansche » individu in zijn bewegingen te vervolgen.

Ook andere maten dan de lengtetoename schenen ons minder geschikt voor het hier beoogde doel, al gaven bepalingen van droog- en asschegewicht, frisch gewicht, cellenvermeerdering e. d. naar de literatuur niet zelden bevredigende uitslagen.

Al onze krommen « neigen » tot rekenkundige reeksen, met uitsluiting van logarithmische, parabolische of hyperbolische beschouwingen. Zij geven echter geen rechte lijnen voor het gansche verloop van het groeiproces : in het begin is een buiging naar boven, op het einde een buiging naar beneden konstant bemerkbaar, naar den vorm van een veranderlijk lang uitgerokken S. Het midden der lijn alleen heeft den opgaanden rechtlijnigen vorm met veranderlijke tangens. En als men zich de golvende krommen van Bose, voor zeer kleine tijdsafstanden bewerkt, herinnert, bemerkt men ook in onze rechthoekige figuren dat de proeflijnen rond de theoretische assen in lichte golving, en het verschijnen der scheuten over de opeenvolgende dagen in duidelijk golvende beweging is.

2. Sachs was, gelooven wij, de eerste die bepaalde dat elke plant een max. (snelheids-) groeiperiode doormaakt. Wij hebben dat steeds kunnen bevestigen. Maar moeten er aan toevoegen dat ook twee minimaperiodes, een vóór en een ná vermelde groeiperiode, mee in rekening moeten worden genomen. Maar daarmee is dan toch nog het gansche levensproces niet gedefiniëerd. Wij kwamen tot het volgende schema :

a) Het zaad, geboren en tot rijpheid gekomen, bevat al de konstitueerende elementen van het te verwachten individu. Die elementen komen na het zaaien wakker, maken zich gereed om naar onder en naar boven baan te breken ; inzet voor het gansche leven, konstitutieperiode ;

b) Wortel en eerste scheut banen zich een weg en orienteeren het verder bestaan der plant naar het voorhanden zijnde energiekapitaal ; praeorganisatieperiode ;

c) De ontwikkeling boven den grond neemt voor goed aanvang en ontwikkelt een maximum energie praeparatief aan het vruchtdragen, het doel der plant ; organisatieperiode ;

d) Daar staat ze welig te bloeien, krijgt knoppen, bloemen, vruchten. Maximum der ontwikkeling ; apogeumtijd ;

e) Zaad afwerpen, uitputten, verkwijnen, sterven ; vervalperiode.

Deze vijf levensstadia kan men bij alle levende wezens, afzonderlijk en

in groep als geheel, aantoonen. Men vindt ze terug op alle terreinen der steeds in arbeid zijnde Natuur. Wij vermelden hieromtrent :

De curven van Verhulst en Quetelet, van over nagenoeg een eeuw, in zake de Demographie der Nederlanden ; deze twee geleerde Belgen mag men aanzien als voorloopers der Biometrica ;

De spierkracht, de aandacht, het geheugen bij kinderen met hun periodische jaarcurven ;

De jaarlijksche gelijkloopende ontwikkeling (frequens) der insekten en plantensoorten, met hun toppen in Juli ;

Al deze dubbelcurven, twee in rechte lijn gaande bewegingen voorstellende, in tegenovergestelde richting, zijn ook zichtbaar rechtstreeks in de Natuur : de boomstammen en de takken pyramidaal gebouwd, geven niet zelden een beeld van éentoppige symmetrische krommen.

3. Op zuiver physisch terrein is het niet anders gesteld. Men moge de gemiddelde maandelijksche temperatuur bepalen voor het N. en Z. halfrond op een gegeven punt van den aardbol, of voor elk halfrond een gegeven oogenblik de afstanden van bij voorbeeld 10 tot 10° meten, gaande van 90-0°; de hellingen der bergen opnemen; den gasdruk bij een ontploffing in gesloten ruimte registreeren ; de aimantatie van staalplaten vervolgen ; de hysteresis bij de verschijnsels van veerkracht of magnetisme systematisch onderzoeken ; de kristalgroei van de zouten in gewicht of afmetingen bepalen. Men moge nog de Tafel van Mendelëef nakijken voor om 't even welke konstante over de rij der opeenvolgende elementen. Men moge de meest veranderlijke verschijnsels der vrije Natuur of het Laboratorium in aandachtige doorloopende waarneming opvangen, steeds komt men tot het hier besproken curvenresultaat.

4. Ook in Chemie is die zaak niet anders. Wij denken aan de vele reeds gekende uitslagen op het gebied der reactiesnelheden ; de iodometrische bepaling der oxydeerende zelfstandigheden ; alle denkbare voorbeelden van oplosbaarheid en hygroskopiciteit ; de voortgezette inwerking van anorganische op anorganische, anorganische op organische, organische op organische verbindingen. Men mag ook de omzettingen zoo diep vervolgen als men wil, om dan niet zelden tot verrassende vergelijkingen te komen. Zoo bij voorbeeld de nu laatst genomen proeven van Mayr en Tisch (*Ztschr. Anal. Chemie.* 77, 418 1929) : hun titreeringen van zekere zouten in een Dewarglas naar aanleiding van de temperatuurveranderingen (in 1000° C.) ontstaan door de op gelijke tijdsafstandan voortgebrachte reacties ; zij bekwamen zeer regelmatige rechte lijnen waarvan de knikpunten het einde der gecontroleerde omzettingen keurig aangaven.

5. Nu een verrassende merkwaardigheid :

Nemen wij een der curven van Mayr-Tisch, en plaatsen wij daaronder in behoorlijke reductie een onzer groeicurven, dan zien wij schier volledige gelijkheid, met de knikpunten in goede overeenstemming. De materieele uitwendigheden van het levend en niet-levend materiaal loopen hier beslist paralleel : geboren worden, groeien, sterven (fig. 7).

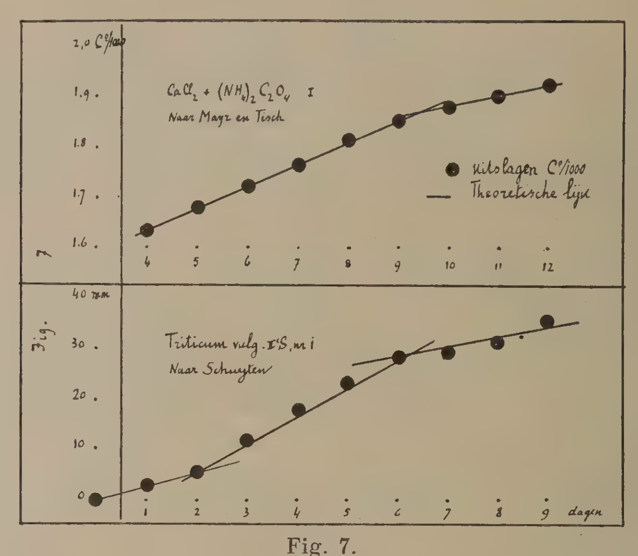


Fig. 7.

Besluitselen

1. De algemeenheid van de graphisch verkregen rechtelijnkrommen in de Natuur schijnt ons voor veranderlijk-groote tijdsafstanden een goed gevestigd feit, dat overigens gesteund is door hun spiraalvorm.

2. Deze was aanleiding bij de onderzochte Gramineeën om een dubbele groeigolf vast te leggen, omstandigheid die uitstekend klopt met de golvingen die men bij de curven in het algemeen bij hun begin en einde kan waarnemen ; zij zijn tevens een bijdrage tot het verder onderzoek dezer bewegingen in den door Bose en Meissner ingeslagen micro-weg.

3. Wij kunnen nog geen uitspraak doen over de door Demozay zeer typische groeiformule, maar blijven stilstaan bij de uit haar afgeleide wet. Namelijk : Op elk oogenblik van haar ontwikkeling kan de plant niet méer groeienergie voortbrengen dan het proportionaal gedeelte van den nog af te leggen weg tot haar maximum lengte ; waaruit volgt dat die maximum-lengte (groeimogelijkheden) voorhands (gedetermineerd) is vastgelegd reeds van in het zaad.

4. Dit in de gansche Natuur toepasselijk begrip, door anderen en ons zelf sedert lang reeds aangetoond, is zuiver wetenschappelijk Determinisme en juist. Wij weten immers dat alle reacties gebonden zijn aan de voorhands bestaande individueele specifische eigenschappen (mogelijkheden). Bij voorbeeld, alle gassen, in verhouding tot hun molekuulgewicht hebben, in standaardvoorwaarden van temperatuur en druk, hetzelfde volumen 22,4 liter. Planten, dieren, kinderen, menschen, ontwikkelen zich maximum in de daarvoor geschikte voorwaarden, naar hun ingeboren mogelijkheden *waaraan niets is toe te doen.*

5. Het is aan te stippen dat sommige godsdiensten, sedert hun aanvang, door geloof alleen tot dit universeel begrip zijn gekomen. De Wetenschap schijnt het nu eerst te ontdekken.

Courbes de croissance de *Triticum vulgare*, *Hordeum vulgare*, *Secale cereale*, *Avena sativa*, en rapport avec les courbes de croissance (ou de vitesse) en général

(Résumé)

Nous avons pensé que pour connaître exactement la formule de croissance des êtres vivants en général, des végétaux en particulier, il faut : 1° les mettre dans les conditions naturelles de leur existence sans réaliser des conditions artificielles de laboratoire qui ne se présentent jamais dans la nature ; 2° suivre les mesures sur l'individu entier dans toutes ses dépendances morphologiques.

Nous avons appliqué cette méthode sur quelques Graminées, parce que celles-ci présentent une grande uniformité de structure simple dans leurs parties essentielles.

En édifiant les courbes rectangulaires nous avons constamment rencontré entre les points de flexion la ligne droite, suivant la formule connue $y=kx+kx'$. Et quand on met les résultats en spirale d'Archimède $r=a\theta$, on voit très bien que le développement des pousses s'opère nettement en deux faisceaux de croissance (les boules noires des fig. 3, 4, 5 et 6), ou, que les feuilles en cours de route se groupent en deux paquets distincts l'un de l'autre.

Nous poursuivons ce phénomène remarquable.

Un troisième point qui fixe également notre attention, c'est que le développement global de l'individu se fait en périodes distinctes appelées successivement la constitution, la préorganisation, l'organisation, l'apogée, la décadence. Leur durée n'est pas encore à fixer ; la décadence serait très longue.

Des phénomènes analogues ou identiques se rencontrent dans le monde physique et social.

Il est à conclure également que lors du développement d'une énergie vivante, les phénomènes se passent dans le cadre des possibilités héréditaires sans qu'il soit possible d'augmenter le capital vital existant par l'addition de nouvelles sources d'énergie. Dès la semence toutes les possibilités de croissance sont présentes; elles peuvent être entravées, elles ne peuvent pas être augmentées. Ce déterminisme se rencontre partout dans la nature.

SUR LA FORMATION DE LA MEMBRANE CHEZ CERTAINES ESPÈCES DE *SPIROGYRA*

par A. CONARD,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

Certaines espèces de *Spirogyra* ont des membranes transversales garnies d'un pli circulaire. Leur formation a été étudiée par Strasburger (1) (1882, 1889) et par Behrens (2) (1890). Cependant leur mode de développement est si intéressant qu'il m'a semblé utile de le décrire à nouveau.

Comme chez tous les *Spirogyra*, pendant que la caryocinèse se produit, la cytocinèse se prépare : un gros bourrelet constitué par une substance granulaire se forme contre la membrane de la cellule mère, dans le plan où la nouvelle cloison va naître. Mais, ce bourrelet ne devient membranogène que quand le tonnelet, qui unit les noyaux en reconstruction, est venu se souder avec lui (fig. 10 h). Chez les *Spirogyra* à cloison non plissée, ce bourrelet progresse alors lentement vers l'intérieur, se rétrécissant de plus en plus, à mesure que la membrane se développe. Chez les *Spirogyra* à cloison plissée, les débuts sont identiques, mais, quand la portion formée atteint 6 à 7 μ, on voit apparaître très rapidement, en arrière du bourrelet, un petit trait (3) sombre (fig. 10 h. 10) qui est le point de départ du pli (4). Au moment où ce dernier devient visible, il mesure déjà 3 μ ; cela tient à ce qu'il a été masqué, jusque là, par la substance granulaire du bourrelet. Le bourrelet, qui progresse régulièrement dans les cas ordinaires, est retenu ici, d'une manière tout à fait caractéristique, par la couronne solide que constitue le pli; et la tension superficielle n'est probablement pas étrangère à ce phénomène. Tout en restant adossé au pli, qui se développe lentement (fig. 10 h. 20, 10 h. 23), il continue à faire progresser la membrane vers l'ntérieur (10 h. 38, 10 h. 40, 10 h. 43). Entre temps, sa forme (le changement est visible surtout en section transversale) s'est modifiée et son vo-

(1) *Ueber Bau und Wachsthum der Zellhaut* ; Jena, 1882. *Ueber das Wachsthum vegetabilischer Zellhdule* ; Jena 1889.

(2) *Zur Kenntnis einiger Wachsthums- und Gestaltungsvorgänge in der vegetabilischen Zelle (Botanische Zeitung*, 189Q).

(3) Dans un cas, en utilisant un éclairage oblique, 10 minutes avant l'apparition du trait, j'ai observé une figure qui indiquait que dans la région où le pli va se former la membrane jouit d'une réfringence particulière ; on aurait dit qu'elle présentait une solution de continuité en cet endroit (fig. B).

(4) Ce pli est en réalité formé de deux plis situés dans le prolongement l'un de l'autre (fig. A), mais pour la commodité de l'exposé, je me permettrai de parler simplement du pli.

lume s'est peut-être accru, mais, à un moment donné, on le voit se partager (fig. 10 h. 50) en trois anneaux qui deviennent de plus en plus distincts (fig. 10 h. 53). Deux de ces anneaux occupent les extrémités du pli, ils permettront le développement ultérieur de ce dernier (fig. 11 h., 11 h. 3, 11 h. 7, 11 h. 12, 11 h. 16, 11 h. 22, 11 h. 37, 11 h. 47). Le troisième anneau est interne par rapport aux deux autres, il assurera le développement de la cloison séparatrice qui s'achèvera comme dans le cas ordinaire des *Spirogyra* à membrane simple (fig. 11 h., 11 h. 3, 11 h. 7, 11 h. 12, 11 h. 16, 11 h. 22, 11 h. 37, 11 h. 47). Ce partage en trois du bourrelet initial est intéressant. Son mécanisme paraît assez facile à expliquer. La masse granulaire du bourrelet englobe, en effet, un corps solide, la membrane naissante, qui présente trois arêtes se déplaçant, par la croissance, dans des directions différentes. Comme ces arêtes sont des zones de tension superficielle élevée, en s'écartant toujours les unes des autres, elles attirent à elles une certaine portion du bourrelet qui finit par se fragmenter en trois, comme nous l'avons vu. On pourrait se demander aussi, pourquoi les deux anneaux périphériques ne chevauchent pas sur le pli et restent au contraire sur la face interne de ce dernier. Ici encore, l'explication paraît simple : il semble bien que ce soit la courbure du pli, dans ses extrémités, (fig. 10 h. 38 et suivantes) qui détermine la position que les anneaux conservent. De nombreux tractus persistent entre les anneaux périphériques et l'anneau central, et l'on observe fréquemment entre eux des échanges (fig. 11 h. 12) qui sont parfois très importants. Ces observations, ainsi que d'autres que j'ai faites antérieurement [5], m'incitent à penser qu'il existe dans la cellule en division une substance membranogène qui devient active au moment de la cytocinèse. Elle serait d'origine cytoplasmique. Dans le travail que j'ai publié sur la figure achromatique dans les cellules de la tige de Tradescantia, j'ai montré que l'on peut suivre, pendant la mitose, les mouvements d'une substance granulaire qui finit par s'accumuler, après les anaphases, dans le plan équatorial du fuseau de cytocinèse, pour former la plaque cellulaire. Quand celle-ci est formée dans l'aire fusoriale, la substance granulaire gagne la périphérie et y constitue un bourrelet qui progresse en direction centrifuge, jusqu'à ce que la cellule à grande vacuole à suc cellulaire soit complètement découpée. Des bourrelets de ce genre ont été décrits par Bailey [6], Goldstein [7] et Piech [8], pour ne signaler que ceux qui se sont le plus

[5] A. Conard, *Sur un nouveau mode de formation de la membrane dans les tissus cicatriciels d'une feuille* (*Bull. Acad. roy. Sc. de Belgique*, 531 [1922]). — *La figure achromatique et la formation de la membrane dans les tissus cicatriciels de la tige de* Tradescantia virginica (*Bull. Acad. roy. Sc. de Belgique*, 740 [1925]). — *Sur la division cellulaire chez* Melosira varians Ag. (*Comptes rendus Soc. de biologie*, 954 [1929]).

[6] *The cambium and its derivate tissues. A reconnaissance of cytological phenomena in the cambium* (*Am. Jour. Bot.*, 7, [1920]*a*). — *The significance of the cambium in the study of certain physiological problems* (*Jour. Gen. Physiol.*, **2** [1920]b). — *Phragmospheres and binucleate cells* (*Bot. Gaz.*, **70** [1920]c).

[7] *A study of progressive cell plate formation* (*Bull. Torr. Bot. Club*, **52** [1925]).

[8] *Ueber die Entstehung der generative Zelle bei* Scirpus uniglumis *Link durch « freie Zellbildung »* (*Planta*, B. **6**, h. 1 [1928]).

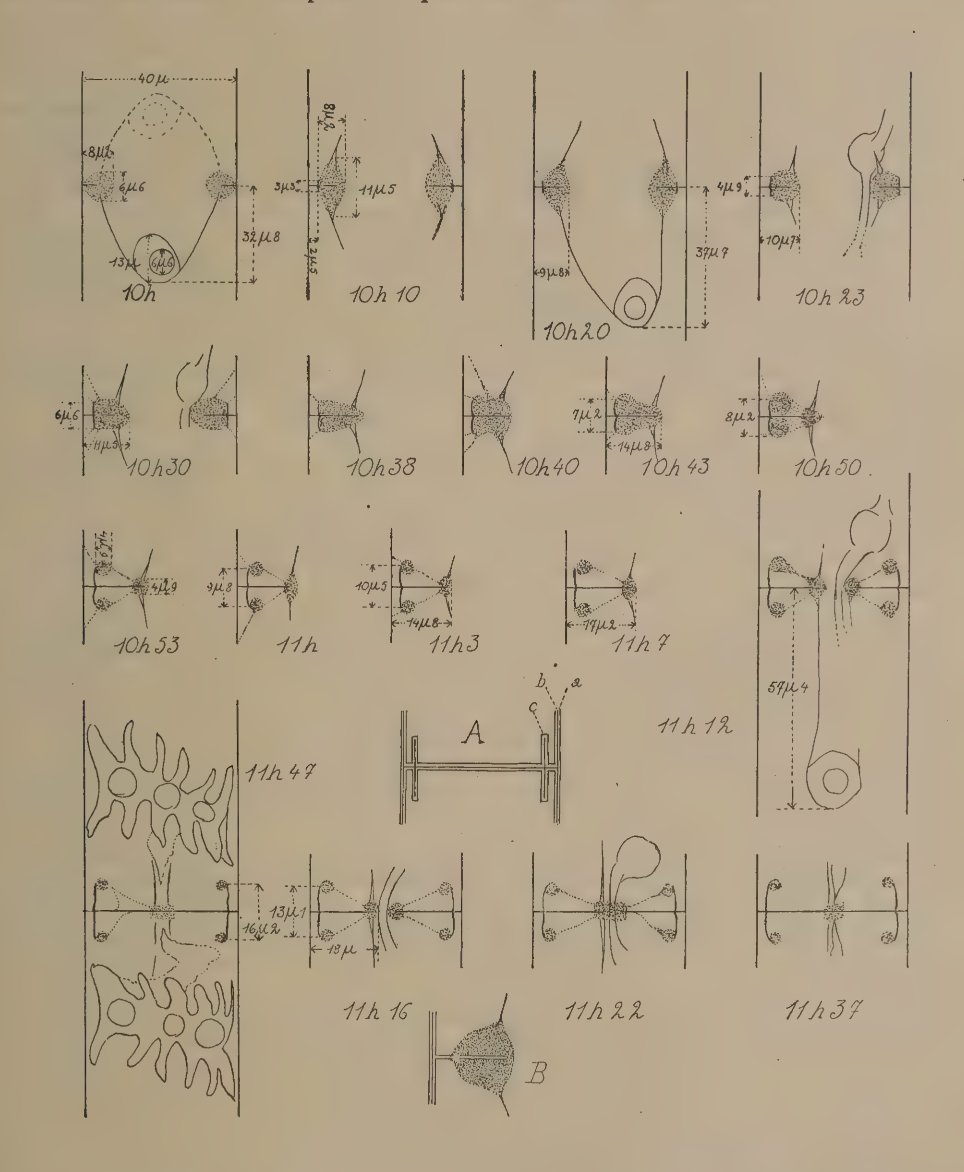
récemment occupés de la question ; ils peuvent être circulaires, courbés ou rectilignes. J'ai montré, moi-même, que leur allure était en accord avec la forme de la cellule. Chez les végétaux supérieurs, on a toujours été tenté d'admettre que ces bourrelets provenaient de la transformation du fuseau de cytocinèse ou de la formation de nouvelles fibres apparaissant sans cesse à l'extérieur des premières. La caryocinèse et la cytocinèse sont d'ailleurs si intimement associées qu'il paraît impossible de reconnaître ce qui revient à chacun des phénomènes. Il est donc difficile de se prononcer sur l'origine de la substance des bourrelets. Chez *Spirogyra*, au contraire, le bourrelet de cytocinèse est constitué indépendamment des phénomènes nucléaires, et ceci nous éclaire sur la vraie nature cytoplasmique du phénomène. Cependant, ce bourrelet ne deviendra membranogène que quand le tonnelet, portant à ses deux extrémités les deux noyaux filles, sera entré en contact avec lui. Ce tonnelet apporte donc l'excitation nécessaire au déclenchement du phénomène. Chez les *Spirogyra* du type ordinaire, à membrane simple, le tonnelet se referme à mesure que la membrane progresse, si bien que celui-ci se trouve toujours dans la région où la membrane se forme et l'on pourrait se demander si son concours permanent n'est pas nécessaire. L'étude de la formation des cloisons à pli nous a permis de constater que les bourrelets peuvent assurer le développement d'une portion de membrane, sans l'intervention du tonnelet ; et cela nous autorise à conclure que le bourrelet membranogène, une fois activé par le contact du tonnelet, peut assurer par ses propres moyens l'achèvement d'une cloison.

En résumé, il existe, dans la cellule en division, une substance membranogène d'origine cytoplasmique; à la fin des phénomènes caryocinétiques, elle est activée par des substances d'origine nucléaire ; une fois activée, elle assure le développement des membranes par ses propres moyens. Nous pensons, en outre, que son action serait limitée à la production de la membrane primaire, l'épaississement secondaire appartenant à un autre cycle de phénomènes.

L'existence de cette substance membranogène nous permet de rapprocher la cytocinèse végétale de la plasmodiérèse animale. Dans une communication que A. Dalcq [9] a faite au Congrès des Sciences, il a montré qu'il existe dans le plan équatorial de l'œuf de grenouille en division une substance particulière qui forme un diastème dans lequel se creuse le sillon séparateur. Si cette observation peut être généralisée, la cytocinèse végétale et la plasmodiérèse animale, qui ont été considérées, jusqu'à présent, comme des processus fondamentalement différents, présentent une similitude vraiment suggestive. Dans les deux cas, une substance membranogène dépose une membrane séparatrice qui a une existence éphémère. En effet, dans la cellule végétale, la membrane séparatrice primaire sert tout simplement

[9] « Contrairement à des théories récentes, le point de départ de la cytodiérèse n'est pas cortical mais profond, ... il se produira autour des pôles une vaste gélification lors de l'anaphase, et entre ces deux sphères condensées se développera un diastème, ébauche de la cloison cellulaire. Cette sorte de diaphragme s'accrochera au cortex et déterminera par traction centripète le creusement du sillon. »

d'appui pour l'établissement de la membrane définitive; cette dernière une fois constituée, la membrane primaire, devenue lamelle moyenne, peut se dissoudre. Dans la cellule animale, il n'y a pas formation de membrane proprement dite et la dissolution peut se faire immédiatement, laissant en contact les membranes plasmatiques des deux cellules filles.



L'existence de cette substance membranogène serait aussi d'un très grand secours, pour expliquer le mécanisme de la production simultanée de quatre microspores à partir d'une cellule mère; la formation de cellules à partir d'apocyties, comme par exemple, la transformation d'albumens

nucléaires en albumens cellulaires, la production des spores dans les sporanges apocytaires des Phycomycètes, des Myxomycètes, etc. ; et l'apparition de zoospores dans les cellules multinucléées des Algues, etc.

Explication des figures

Les observations ont été faites au Jardin expérimental Jean Massart. Les dessins sont exécutés d'après des croquis cotés qui ont été pris pendant les observations. Les figures sont indiquées par l'heure à laquelle elles ont été observées. L'espèce n'a pu être déterminée, la cellule étudiée mesurait 40μ de largeur et 343μ de longueur. La gaine était peu épaisse. Le chromatophore large (25μ dans sa plus grande largeur), d'un beau vert, ne présentait pas ce trait vert sombre central si caractéristique de certaines espèces, les pyrénoïdes étaient relativement grands, les plus gros mesuraient un peu plus de 8μ de diamètre, le bord du chromatophore était découpé profondément, et les lobes étaient larges et vigoureux (fig. 11 h. 47). Les enroulements du chromatophore étaient nombreux et assez serrés.

La figure A représente en coupe une cloison plissée adulte, (*a*) la gaine, (*b*) la membrane. Chaque cellule possède sa membrane propre ; chacune de ces membranes présente un pli circulaire (*c*) vertical ; les deux plis sont dans le prolongement l'un de l'autre.

Fig. B. — La section du bourrelet qui a déjà formé une portion de la membrane transversale; en un endroit, il semble y avoir une solution de-continuité; c'est là que le pli prend naissance et devient visible 10 minutes plus tard.

Fig. 10 h. (10 heures, soir). — Les noyaux en reconstruction occupent les pôles du tonnelet. Le tonnelet est soudé au bourrelet de cytocinèse et la formation de la membrane a débuté.

Fig. 10 h. 10 (10 heures 10 minutes). — Le bourrelet a progressé vers l'intérieur laissant derrière lui la membrane formée. En arrière du bourrelet, on voit apparaître le pli caractéristique.

Fig. 10 h. 20. — Pendant que la membrane se forme, le tonnelet se ferme et les noyaux s'écartent (le noyau inférieur est seul représenté).

Fig. 10 h. 23. — La membrane transversale s'est développée, le pli s'est accru ; à droite, à l'intérieur du tonnelet, le chromatophore poussé par le bourrelet granulaire.

Fig. 10 h. 30. — Le profil du bourrelet se modifie, il s'allonge vers l'intérieur, il reçoit les apports de nombreux courants.

Fig. 10 h. 38. (Cette figure et les sept suivantes ne représentent que la moitié gauche des figures). — En section, le bourrelet s'est encore allongé vers l'intérieur, le pli montre une double courbure très caractéristique qu'il va conserver jusqu'au bout.

Fig. 10 h. 40. — Cette courbure s'accentue, des courants importants alimentent le bourrelet.

Fig. 10 h. 43. — La division en trois du bourrelet est simplement ébauchée; le pli (les deux plis dans le prolongement l'un de l'autre) mesure 7μ 2.

Fig. 10 h. 50. — La division, en trois du bourrelet est déjà nettement marquée.

Fig. 10 h. 53. — La division du bourrelet en trois anneaux est réalisée. En section, chacun de ces anneaux mesure 4μ 9 environ.

Fig. 11 h. — Le pli présente toujours sa double courbure, il mesure 9μ 8.

Fig. 11 h. 3. — Stade plus avancé, les deux anneaux restent toujours sur la face interne du pli.

Fig. 11 h. 7. — Stade plus avancé, les deux bourrelets périphériques sont reliés au bourrelet central par des courants.

Fig. 11 h. 12. — Pendant que la membrane et le pli se développent, le tonnelet s'est transformé en un long cylindre ; les noyaux, se trouvant toujours à ses extrémités, se sont fortement écartés (le noyau inférieur est seul représenté). A droite, le chromatophore est toujours poussé, vers l'intérieur, par le bourrelet.

Fig. 11 h. 16. — Stade plus avancé, le pli mesure 13μ 1, il présente toujours sa double courbure.

Fig. 11 h. 22. — Le bourrelet interne s'est transformé en un disque, englobant le chromatophore qui occupe une position centrale.

Fig. 11 h. 37. — Le chromatophore est découpé et la membrane est complètement formée.

Fig. 11 h. 47. — La division est achevée, le chromatophore découpé est représenté, le pli mesure 16μ 2, il est arrivé au terme de sa croissance.

Jardin expérimental Jean Massart
et
Institut Botanique Léo Errera
Bruxelles

RECHERCHES SUR L'ASCENSION DE LA SÈVE

(communication préliminaire)

par Lucien HAUMAN,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

On sait que, depuis deux siècles (Hales 1727), le problème de l'ascension de la sève n'a cessé de préoccuper les physiologistes, et que malgré d'innombrables travaux et de nombreuses hypothèses, des doutes subsistent sur la nature des forces qui agissent et que, spécialement, la question de savoir si les forces agissantes sont purement physiques, ou si les cellules vivantes interviennent comme telles, n'est pas résolue. Les théories vitalistes ont pris récemment un regain d'actualité, par les travaux du botaniste hindou Jagadis Chunder Bose qui affirme l'existence de cellules pulsatiles jouant un rôle prépondérant dans la circulation végétale.

M'étant laissé tenter par ce vieux problème, j'ai réalisé dans ces dernières années de très nombreuses expériences dont je ne mentionnerai ici que quelques-unes, les plus propres à étayer les conclusions auxquelles je suis arrivé. Mon point de départ avait été, devant l'insuffisance des arguments de la théorie physique, le désir de m'assurer expérimentalement de l'intervention directe des cellules vivantes ; c'est cependant à la négation de cette dernière que je suis arrivé, et à la conviction que ce sont les forces d'imbibition qui jouent le rôle fondamental dans la circulation de la sève dans les vaisseaux.

Un fait fondamental, c'est que les plantes terrestres, sauf les cas exceptionnels où elles transsudent par les stomates aquifères ou « pleurent » par des blessures, se trouvent en général en état de sous-imbibition, l'entrée d'eau par les racines n'arrivant qu'exceptionnellement à apaiser la soif des tissus causée par la transpiration, et cela, même quand la turgescence des organes herbacés paraît parfaitement normale. C'est cette sous-imbibition qui détermine l'existence de ce vide relatif, de cette « pression négative » bien connue dans les arbres et qui existe aussi dans les espèces herbacées. Cette « soif » est mise en évidence par l'absorption extrêmement rapide que l'on observe quand un rameau coupé sur une plante est plongé dans l'eau par sa base : le rameau comble d'abord un véritable déficit avant de se mettre *en régime*, c'est-à-dire d'absorber, une fois saturé, à peu près autant qu'il évapore. La rapidité de pénétration d'un colorant approprié [1]

[1] J'ai toujours employé la fuchsine acide à 1 p. c. qui a l'avantage, tout en étant peu toxique, d'être par sa coloration intense, plus facile à voir que l'éosine.

est aussi beaucoup plus grande si l'on y plonge la branche après l'avoir coupée, qu'après l'avoir laissée au préalable se gorger d'eau et se mettre en régime. Cette sous-imbibition existe dans toutes les parties de la plante ; ainsi un Bouleau de cinq ans, de 3 m. 50 de haut, dont le tronc à 17 mm. de diamètre, est sectionné à 40 cm. du sol, par temps chaud et sec : il absorbe par la section de la portion supérieure mise à l'eau, 39 cm^3 en 40', pendant que la partie inférieure, à la section de laquelle on avait ajusté un tube de verre, en absorba 17.5 dans le même temps ; elle absorba 38 cm^3 en cinq heures et n'était pas saturée le jour suivant.

Ce même assoiffement existe aussi dans les plantes herbacées en apparence parfaitement turgescentes : *Impatiens parviflora* dont les tiges sont translucides sert admirablement à le démontrer : si l'on en coupe la tige au-dessus du collet et la plonge dans la solution de fuchsine, on voit celle-ci monter avec rapidité dans les faisceaux, avec des vitesses de 56 cm. en 4', 55 cm. en 3' et même 53 cm. en 1', alors que, en régime, la vitesse dans des conditions analogues variait de 60 cm. en 11' à 35 cm. en 12'. Mais si au lieu de couper les tiges, on pique les plantes *in situ* (ou arrachées avec les racines et une motte de terre, ce qui permet de les transporter au laboratoire), dans un faisceau libéro-ligneux, avec une pipette de verre effilé remplie de fuchsine, on voit le liquide se précipiter dans le faisceau aussi bien vers le haut que vers le bas, où il pénètre dans les racines, atteindre l'entre-nœud immédiatement supérieur (à 5 ou 6 cm. de la piqûre) en 1 seconde et même moins, passer par les anastomoses dans les faisceaux intacts, redescendre et continuer sa marche vers le haut, avec une vitesse pouvant donc atteindre au début 3 mètres et plus par minute. C'est ce que j'appelle le *phénomène du saut*. Celui-ci se produit aussi rapidement dans des tiges ayant, à la fin de l'automne, perdu toutes leurs feuilles, ou après ablation de celles-ci coupées par le milieu des pétioles ; on ne peut donc évoquer ici la succion par ces organes, et l'expérience démontre au surplus l'étanchéité du système vasculaire, même après l'ouverture de nombreuses blessures. L'aspiration qui se produit est capable de soulever une colonne d'eau d'une trentaine de cm. Cette même espèce, plante de sous-bois pourvue de stomates aquifères, peut montrer le phénomène contraire, lorsque, conservée sous cloche, les racines dans l'eau, elle a pu s'en gorger : le liquide rouge de la pipette est alors refoulé par la sève sous pression dans les vaisseaux.

Il est facile de démontrer dans les branches des arbres, même en hiver, que la rapidité de la circulation dépend de l'état de sous-imbibition : 4 branches de 70 cm. de longueur, aussi comparables que possible sont prélevées en janvier sur un Charme (*Carpinus Betulus*) abattu depuis un mois ; deux des branches sont mises dans l'eau au laboratoire (18-19°), deux autres abandonnées auprès, sur la table. Après vingt-quatre heures, une des branches de chaque lot est mise au rouge, lequel, en trois heures, s'élève à 37 cm. dans la branche sous-imbibée et à 3 cm. dans l'autre ; les deux autres branches sont traitées de même après quarante-huit heures : le rouge atteint en une heure et demie le sommet (70 cm.) de la branche

sous-imbibée et 2 cm. dans l'autre. Des branches de Charme montrent aussi que la température, tant qu'elle n'a pas accentué la sous-imbibition (par évaporation) est sans effet sur la vitesse de circulation :

Des rameaux de 70 cm. de long ayant subi plusieurs jours de gelée (— 5° la nuit précédente) ont été coupés le matin et mis au rouge les uns à l'extérieur (temp. —3 à —1°, liquide en partie congelé dans le vase), les autres au laboratoire, à 18-19° : l'ascension du rouge pendant les trois premières heures a été identique dans les deux lots (40 cm.) et ce n'est qu'après huit heures qu'une légère avance, attribuable à une évaporation un peu plus intense, a été constatée à 18° : 57 et 65 cm. contre 50 et 55. L'ascension de liquides colorés incongelables (eau glycérinée), peut encore s'observer à —15°, ce qui paraît difficilement compatible avec une intervention des cellules vivantes.

Mais un matériel particulièrement favorable est fourni par le Genêt (*Cytisus scoparius*) dont des rameaux, aphylles en hiver, parfaitement comparables, peuvent être trouvés en quantité presque illimitée. Ils permettent de démontrer que la rapidité d'ascension des liquides colorés, ou la quantité (en poids) d'eau absorbée, est en relation directe avec le degré de sous-imbibition obtenu par un séjour plus ou moins prolongé à l'étuve à 30°. L'expérience suivante montre que ce n'est pas la tension osmotique des cellules vivantes des parenchymes qui agit puisque, sous-imbibés, ces rameaux absorbent encore des solutions de glucose à 40 %, et que jusque 10 %, les quantités de solutions sucrées ou d'eau pure, absorbées par des rameaux de même longueur et de même poids, également sous-imbibés, sont égales dans un temps donné.

En submergeant entièrement des branches sous-imbibées dans un tube rempli d'huile de paraffine, leur extrémité inférieure plongeant dans la fuchsine à 1 %, on voit que l'ascension se fait aussi vite que dans le rameau témoin laissé à l'air : une fois la sous-imbibition acquise, la transpiration n'intervient donc pas directement comme force aspiratrice ; enfin, si la paraffine est refroidie et tout l'appareil maintenu à 2°, l'ascension est aussi rapide que dans le témoin, également sous-imbibé, dont la paraffine était maintenue à 28° : 70 cm. à froid et 72 à chaud, après une heure, dans des rameaux de 80 cm.

On sait depuis longtemps qu'on peut faire monter des liquides toxiques jusqu'au sommet des arbres, et que les colorants peuvent circuler dans des branches tuées par la chaleur. Mais dans ces conditions, la circulation ne continue pas, et on n'a pas démontré que je sache, qu'elle puisse être quantitativement comparable dans une branche tuée et dans une branche vivante. L'expérience suivante en démontre la possibilité : une branche de Poirier de 50 cm. de long, pourvue de ses feuilles, consommait 8 cm. d'eau en 10 minutes. On la fait ensuite absorber de l'alcool dénaturé pendant vingt-quatre heures (92 cm^3). La branche, dont les feuilles sont fanées et noircies, est alors élaguée, et si l'on approche une flamme de la blessure de ses rameaux, ceux-ci s'allument par leur section comme des mèches : la

branche avec quatre flammes a consommé 5 cm³ en 8 minutes, 4 cm³ en 9 minutes, 7,7 en 10 minutes, 4,5 en 5 minutes, et, à condition de rafraîchir les extrémités enflammées qui charbonnent, la circulation de l'alcool est indéfinie. Il semble que ce subterfuge rétablisse exactement dans les branches tuées les conditions de la circulation normale.

Une autre question enfin a beaucoup préoccupé les expérimentateurs, celle de l'entrée de l'air dans les vaisseaux et de l'effet de sa présence sur la circulation. Je suis convaincu qu'un vaisseau où de l'air est entré dans un long espace, ne fonctionne plus (rameaux de genêt trop desséchés), mais que le système vasculaire des plantes, même herbacées, est extraordinairement étanche à l'entrée de l'air, même par des blessures, coupures, etc. (voir plus haut le saut dans *Impatiens* amputée de ses feuilles) ; des rameaux lignifiés, ou même des organes herbacés comme un pétiole de marronnier supportent des vides de 63-72 cm. de mercure, sans que l'air entre dans leurs vaisseaux, et sans que ce vide empêche l'ascension des liquides colorés, même jusque 10 mètres de hauteur (expérience sur *Ampelopsis*). Un appareil très simple, que je décrirai ailleurs, m'a permis de constater qu'une branche en pleine transpiration et absorbant activement par sa section trempant dans l'eau, ne laisse pas entrer l'air dans ses vaisseaux, lorsque la section est émergée, et qu'elle se remet *instantanément* à absorber lorsqu'on la replonge dans le liquide. Quelque chose donc, le ménisque sans doute, s'oppose à l'entrée de l'air dans les vaisseaux, même s'il y a aspiration produite par l'évaporation.

Ces expériences et beaucoup d'autres m'ont conduit à cette conclusion :

Les plantes vasculaires, herbacées ou ligneuses, sont parcourues par un système hydraulique, parfaitement continu, dans ses parties actives, parce que remarquablement étanche, système au long duquel depuis les feuilles jusqu'aux racines, les pertes d'eau dues à la transpiration déterminent, *à tous les niveaux*, un état de sous-imbibition auquel est attribuable la « pression négative » qui règne en général dans le système circulatoire des végétaux. Sans qu'il soit besoin d'évoquer ni la capillarité, ni la pression barométrique, ni, exclusivement au moins, une pression ou succion osmotique, c'est aux forces d'imbibition qu'il faut attribuer le pouvoir d'élever jusqu'au sommet des arbres les plus hauts, la sève contenue dans les vaisseaux. Les filets d'eau, très cohérents, comme on sait, qu'elle constitue sont maintenus et soulevés à tous les niveaux par la sous-imbibition des territoires qu'ils traversent, et l'état vivant des cellules contiguës n'intervient que pour maintenir l'étanchéité des vaisseaux, empêcher qu'une évaporation excessive ne détermine une entrée d'air dans les vaisseaux et maintenir la continuité des filets liquides.

PROCESSUS BIOLOGIQUES ET TEMPÉRATURE

par Albert-E. NAVEZ,

Laboratoire de Physiologie Générale
(Harvard University, Cambridge, Mass.)

La physiologie générale a pris dans ces dix dernières années, spécialement sous l'impulsion que Jacques Loeb lui a redonnée, une tendance très nettement marquée à dégager de plus en plus les bases physico-chimiques des phénomènes observés. Ce changement de directives générales n'a été rendu possible que par une évolution radicale dans la façon d'envisager les problèmes sous leurs aspects quantitatifs bien plus que pour leur simple description qualitative, celle-ci rendant toute comparaison sujette à l'influence de la personnalité de l'observateur.

Cette même tendance a déterminé un grand nombre de chercheurs à mesurer systématiquement des phénomènes, montrant par là combien la confusion entre données *numériques* et données *quantitatives* était facile à faire.

Dans l'énorme littérature biologique de ces dix dernières années, on trouve en effet une masse véritablement gigantesque (cf. par exemple les divers volumes des *Tabulae biologicae*) de mesures, qui, dans un grand nombre de cas, ne sont susceptibles d'aucun traitement ultérieur, bien que par elles-mêmes elles ne dégagent aucune idée biologique nouvelle. Il est à remarquer, au contraire, que dans cette même littérature, un très petit nombre de travaux se sont intéressés à établir des relations intelligibles entre les observations et quelque théorie intelligible par elle-même.

Le champ de recherches qui s'occupe spécialement de la relation existant entre des processus biologiques et la température est précisément dans ce cas. Il existe un nombre relativement considérable de travaux dans cette direction ; mais ici un point d'ordre technique (la précision et la constance des conditions expérimentales) vient souvent rendre impérieux le rejet d'un nombre très grand de ces mêmes ouvrages. D'autre part, la tendance, souvent marquée, de déterminer des « moyennes » d'observations pour des « conditions moyennes » a vicié un bon nombre de travaux, et les a souvent rendu inutilisables pour quiconque voudrait faire usage de ces mêmes données.

Des traitements « statisticoïdes » ou « pseudo-statistiques » inintelligents ont souvent gâté, de façon irrémédiable, des observations très bonnes par elles-mêmes. Enfin, quand des observations convenables ont été obtenues,

encore faut-il qu'elles soient utilisées à bon escient pour servir à l'établissement ou au rejet d'hypothèses intelligibles. Il est facile de décrire des courbes empiriques par des équations empiriques ; il est beaucoup plus difficile d'établir la corrélation nette existant entre ces mêmes courbes et la cinétique d'une réaction chimique déterminée, par exemple.

A propos du problème qui nous intéresse, toutes ces diverses critiques peuvent être formulées. Nous devons y ajouter encore — et nous ne saurions trop insister sur ce point — que la technique devra être raffinée, que toutes les conditions expérimentales devront être contrôlées autant que possible, et qu'enfin il faudra prendre soin de ne faire varier qu'une variable à la fois, et cela de façon déterminée. Enfin, la pratique a montré que pour l'établissement de relations entre processus biologiques (et nous pourrions étendre cela à tous les processus physico-chimiques) et température, les observations, nombreuses, devront être faites à des intervalles de température aussi petits que possible et cela, distribués d'une façon régulière le long de l'échelle thermométrique. Il est en effet une curieuse tendance très générale à distribuer les observations de 5° en 5° à partir de zéro centigrade ; nous aurons l'occasion de voir plus loin qu'une telle pratique peut introduire des modifications importantes dans les résultats et, d'autre part, interfère avec l'établissement de « températures critiques ».

Les données d'observations une fois établies, comment pourrons-nous les utiliser ? Depuis très longtemps, les chimistes et même les biologistes ont employé leurs observations à établir un « coefficient de température » Q_{10} c'est-à-dire le rapport des vélocités d'un même processus à deux températures séparées de 10° C. Il est entendu qu'une grande majorité de réactions à caractère chimique donnent dans ces conditions un Q_{10} de 2 à 3, et celles à caractère physique (diffusion, réaction photochimique, etc.) un Q_{10} aux environs de 1. KANITZ (1) a tenté de justifier l'application de cette règle en biologie. Mais il est bien évident de par l'inspection de quelques courbes reliant vélocité d'un processus et température, que ce coefficient dépend de l'intervalle de température considéré et que, de plus, il ne nous donne aucune idée sur le mécanisme du processus considéré. D'autres formules, telles que celles d'ESSON (2), ont été proposées. Il semble bien établi à présent, que celle de VAN'T HOFF-ARRHENIUS (3) est la mieux adaptée au but que nous discutons. Nous avons vu, en effet, depuis son application en biologie par CROZIER (1924) (4) qu'elle a pu fournir nombre de relations et de déductions intéressantes.

Sous sa forme habituelle $v_2 = v_1\, e^{\frac{\mu}{2}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)}$, ou sous sa forme logarithmique, (v_1 et v_2 étant les vélocités aux températures absolues T_1 et T_2,

(1) *Temperatur und Lebensvorgänge*, Berlin (1915).
(2) *Philos. Trans. R. Soc. Londres* ; A. **212**, 187 (1912-1913).
(3) *Etudes de dynamique chimique* ; Amsterdam, (1884).
(4) Entre autre *Proc. Nat. Acad. Sc., Washington*, **10**, 461 (1924) et nombreux travaux avec collaborateurs dans le *Jour. Gen. Physiol.*, depuis 1924.

e, la base des log. naturels et μ, une quantité appelée par Crozier « caractéristique de température », ou « incrément thermique », et ayant les dimensions de calories par gramme-molécule de substance activée) elle nous livre aisément la valeur de μ.

Il est établi à l'heure actuelle que ces valeurs de μ ne sont pas quelconques, mais qu'elles se groupent autour de certains modes, reparaissant souvent pour des activités ou des processus analogues.

Il a été indiqué également que cette occurrence de modes bien définis, pouvait être correlatée avec l'existence de catalyseurs communs à ces processus, caractérisés par la valeur de μ. Cette méthode d'analyse nous permet donc d'obtenir des indications sur des réactions relativement complexes se passant dans un organisme, et cela sans aucune interférence avec son activité normale.

Il a été trouvé aussi que bien des processus complexes, en apparence très distincts, pouvaient avoir comme processus fondamental une même réaction, pour un intervalle de température déterminé, cette réaction faisant place à une autre au delà de ce point. Ces points, précisables d'une façon très nette quand le nombre d'observations est grand, ont été nommés « températures critiques ». Ils se trouvent distribués au voisinage de 4°, 9°, 15°-16°, 20°-21°, 25°, etc., et doivent être reliés probablement à des variations de propriétés des solutions aqueuses à ces températures.

Leur existence peut être établie non seulement d'une façon expérimentale, mais aussi par l'étude de la « variation » propre des observations. L'étude de cette « variation » montre, en effet, qu'à de telles températures, la distribution normale (ou Gaussienne) des points d'observations fait place à une distribution bimodale, correspondant à chacune des séries de points au delà et en deçà du point critique.

Il a été constaté également que la latitude de variation des observations (à une température quelconque) est une fraction constante de la valeur moyenne de ces observations. De plus, l'étude de cette variation en fonction de la température montre que nous avons à faire à une variation propre à l'organisme et non pas due à une technique défectueuse. Elle nous ouvre ainsi une voie d'approche très originale à l'étude d'une propriété fondamentale des organismes, la variabilité dans les réponses, par la considération d'une fonction mathématique dérivée d'observations relativement aisées [5].

---

[5] Un développement de ce même travail paraîtra ultérieurement.

8e Section : Zoologie

Président : M. WILLEM.
Vice-Président : M. SCHOUTEDEN.
Secrétaire : M. DE SELYS LONGCHAMPS.

L'organisation de cette Section a été confiée à la Société Royale Zoologique de Belgique, qui s'est entendue avec la Société Entomologique de Belgique pour la création d'une Sous-Section d'Entomologie :

Les questions suivantes avaient été mises à l'ordre du jour :

Faune de Belgique.

Construction des loges par les Hyménoptères.

Oiseaux briseurs de coquilles.

Races des Chimpanzés et des Gorilles.

Phylogénie des Tuniciers.

Physiologie de la régénération et reproduction asexuée chez les animaux.

Programme de recherches biologiques.

L'instinct.

PREMIÈRE SÉANCE, DIMANCHE 29 JUIN, À 14 HEURES.
(en commun avec la Section de Botanique).

(*Flore et Faune de Belgique*).

Présidence : MM. GRAVIS et WILLEM.

Les communications relatives à la flore sont insérées à la Section de Botanique.

M. le Professeur A. LAMEERE fait une communication *sur les faunes continentales de la Belgique.*

Discussion : M. HAUMAN, dont une note suit le texte de la communication de M. LAMEERE ; MM. DE WILDEMAN, VAN OYE.

M. J.-M. DERSCHEID parle de la *Protection de la Nature en Belgique envisagée particulièrement au point de vue scientifique.* A la suite de cette communication, il est constitué une Commission chargée d'élaborer le texte d'un vœu qui sera soumis aux Sections de Botanique, de Zoologie, de Géologie et d'Anthropologie, et proposé à la ratification de l'Assemblée générale de clôture.

DEUXIÈME SÉANCE, LUNDI 30 JUIN, À 9 H. 10.
(en commun avec la Section de Biologie)

Présidence : M. V. WILLEM.
Vice-Présidence : M. Et. RABAUD.

Communications :

M. A. LAMEERE : *Biologie et histoire naturelle.*
Discussion : MM. Brachet, Willem et Pelseneer.

M. G. CASTRO-RODRIGUEZ et Mlle N. POURBAIX : *Présence du glycogène dans les organismes en régénération.*
Discussion : MM. A. Dalcq, A. Lameere.

M. A. BRACHET : *L'orientation des recherches d'embryologie à l'Université de Bruxelles* (Faculté de Médecine).
Discussion : MM. P. Brien, A. Brachet, Et. Rabaud.

M. A. DALCQ : *Aperçu général sur la fonction du noyau dans les premières phases de l'ontogénèse.*
Discussion : MM. P. Brien, A. Brachet.

M. H. DE WINIWARTER : *L'activité du Laboratoire d'histologie et d'embryologie de l'Université de Liège.*

TROISIÈME SÉANCE, LUNDI 30 JUIN, À 14 H. 10.
(en commun avec la Sous-section d'Entomologie).

Présidence : MM. SCHOUTEDEN et WILLEM.
Vice-Présidence : M. Et. RABAUD.

Communications :

M. V. WILLEM : *Nouvelles observations sur l'architecture des Abeilles.*
Discussion : MM. Rabaud, Brien.

M. L. VERLAINE : *Comparaison des architectures des Abeilles et des Guêpes.*
Discussion : M. Rabaud.

M. A. LAMEERE : *La classification des Insectes.*

*
* *

L'après-midi se termine par une visite de l'Aquarium de l'Avenue Louise, où le meilleur accueil fut réservé aux Congressistes par le Directeur, M. A. Lestage. La visite se fit sous la conduite de MM. Lameere et Willem, dont les explications attrayantes furent très goûtées.

QUATRIÈME SÉANCE, MARDI 1er JUILLET, À 9 H. 10.

Présidence : M. V. WILLEM.
Vice-Présidence : M. Et. RABAUD.

Communications :

M. A. LAMEERE : *L'évolution du règne animal.*
Discussion : M. Willem.

M. L. VERLAINE : *L'instinct.*

M. L. VERLAINE : *Les Oiseaux briseurs de coquilles d'Hélix.*

M. L. VERLAINE : *L'autotomie psychique chez les Phasmides.*
Discussion : MM. Rabaud et Willem.

M. J.-M. DERSCHEID : *Les races des Gorilles et leur distribution géographique.*

M. P. PELSENEER : *A propos de l'éthologie des Mollusques* (quelques données numériques).

Discussion : MM. P. Brien, A. Brachet, V. Willem, A. Navez, J.-M. Derscheid.

*
* *

L'après-midi du mardi fut consacrée à une visite du Musée du Congo, à Tervueren, qui se fit sous la conduite de M. et Mme SCHOUTEDEN-WÉRY et de M. Gaston-Fr. DE WITTE, les sections de Zoologie et d'Ethnographie étant celles qui retinrent principalement l'attention des visiteurs. Un thé fut ensuite offert aux dames congressistes au Château de Tervueren.

CINQUIÈME SÉANCE, MERCREDI 2 JUILLET, À 9 H. 15.

Présidence : M. V. WILLEM.

Vice-Présidence : M. Et. RABAUD.

Communications :

M. A. DE WAELE : *Les accroissements périodiques de la coquille d'Anodonta cygnea.*

Discussion : M. P. Brien.

M. P. BRIEN : *La régénération chez les Clavelinidae. Leurs rapports avec les Diazonidae.*

Mlle N. POURBAIX : *Formation des cavités péribranchiales chez les Polyclinidae.*

M. DE SÉLYS LONGCHAMPS : *Un aspect de l'histoire des Sciences zoologiques en Belgique : L'étude des Tuniciers.*

Mlle L. VAN RYSSELBERGE : *Le Télencéphale de la Grenouille* (avec projections).

Discussion : M. V. Willem.

*
* *

Vœu relatif à la Protection de la Nature. Ce vœu, adopté à l'unanimité par la Section, figure au compte rendu de la Séance de clôture (page 8) par laquelle il fut ratifié, à l'unanimité également.

SUR LES FAUNES CONTINENTALES DE LA BELGIQUE

par Aug. LAMEERE

Professeur à l'Université de Bruxelles

C'est à Edmond de Selys Longchamps, que nous devons le premier essai de régionnement de la Belgique continentale au point de vue faunistique (*Bull. Acad. Belg.*, 1re série, XXI, 1854). Se basant sur la répartition donnée pour la Botanique par J.-C. Houzeau dans son *Essai sur la géographie physique de la Belgique*, l'auteur de la Faune belge envisageait sept régions, le Littoral, la Campine, la Hesbaye, la vallée profonde de la Meuse, le Condroz et l'Entre-Sambre-et-Meuse, l'Ardenne (région subalpine) et la Lorraine.

Plus tard, A. Preudhomme de Borre, conservateur de la Section des Articulés au Musée royal d'Histoire naturelle, dans son excellente introduction à l'ouvrage de L. Quaedvlieg, intitulé : *Les Papillons diurnes de Belgique* (1873), fit valoir quelques considérations nouvelles en s'inspirant de ce que Fr. Crépin avait admis dans sa *Flore de Belgique* (1861). P. de Borre admettait quatre provinces séparées par des zones neutres, une province batave comprenant la Campine, une province belge avec les Flandres et la Belgique moyenne, une province rhéno-mosane réunissant à la région calcaire l'Ardenne, et une province lorraine. Il détachait de l'Ardenne les hauteurs de la Baraque Michel pour en constituer une zone subalpine.

Dans mon *Manuel de la Faune de Belgique* (1895), j'ai suivi Preudhomme de Borre et me suis écarté avec lui de Crépin en séparant les Flandres de la Campine et en détachant le district calcareux de la Belgique moyenne pour l'associer au district ardennais, modification que nos botanistes ont adoptée depuis. Aussi, à la suite de la publication de l'*Esquisse de la Géographie botanique de la Belgique*, par Jean Massart (1910), ai-je proposé (*Bull. Soc. Ent. Belg.*, II, 1920) d'unifier autant que possible les divisions géographiques botaniques et zoologiques de notre pays ainsi que leur terminologie.

La Belgique n'est au fond qu'une zone neutre entre le domaine des plaines du Nord-Ouest de l'Europe et le domaine des basses montagnes de l'Europe centrale. L'on peut réunir au premier domaine la Basse Belgique, avec les districts campinien, hesbayen et flandrien, et au second la Haute Belgique avec les districts calcaire, ardennais et jurassique ; ces deux grandes divisions correspondent à peu près aux bassins de l'Escaut et de la Meuse.

Je m'écarte de Massart en adjoignant au district flandrien les districts des alluvions marines et fluviales ainsi que ceux des polders argileux et sablonneux, considérant ces milieux comme étant simplement des biotopes particuliers aux Flandres ; je prends la même attitude en ce qui concerne le district littoral ; il ne s'agit point là de territoires offrant des conditions géographiques nous permettant de les considérer comme étant des districts au même titre que ceux dont la constitution du sol, le climat et l'altitude associés à leur passé nous obligent à une légitime séparation. Le district crétacé me paraît également superflu, le pays de Herve s'incorporant au district calcaire et la région de Mons au district hesbayen ; quant au district subalpin de la Baraque Michel, je le réunis au district ardennais dont il n'est qu'un facies, comme l'admettait Crépin.

Tout le territoire de la Belgique a été soumis au climat glaciaire ; les espèces adaptées à un régime plus tempéré en ont alors disparu, remplacées par une faune septentrionale. Les phénomènes glaciaires ayant définitivement cessé, la température devenant plus douce, des formes plus méridionales entrèrent alors dans le pays, pour remplacer les espèces glaciaires; celles-ci retournèrent vers le Nord, mais pas toutes ; un certain nombre d'entre elles sont restées là où se sont conservées des conditions climatériques qui leur convenaient.

Ces reliques glaciaires sont naturellement surtout abondantes à une altitude plus ou moins élevée, d'où la dénomination d'alpines ou de subalpines qu'on leur a appliquée : en Belgique, la Baraque Michel, à près de 700 mètres d'altitude, et particulièrement étudiée par M. Léon Fredericq (*Bull. Acad. Sc. Belg.*, 1904), est une localité subalpine tout à fait remarquable, à un degré moindre la Baraque de Fraiture ainsi que les environs de Saint-Hubert en Ardenne. Mais il ne faut pas perdre de vue qu'une espèce dite subalpine peut très bien avoir subsisté dans la plaine, pourvu qu'elle ait continué à y trouver des conditions d'existence analogues à celles de la période glaciaire, pourvu qu'elle y rencontre une eau suffisamment froide, par exemple, si elle est aquatique. La faune subalpine est disséminée en Belgique : le *Stenus glacialis* Heer, forme des montagnes ailleurs, est très commun dans notre district calcaire où subsiste son biotope naturel, lequel n'existe pas à la Baraque Michel : des mousses humides constamment à l'ombre. Il y a maintes formes subalpines en Campine. La Forêt de Soignes, près de Bruxelles, possède entre autres reliques glaciaires *Leptura scutellata* Fab., qui n'existe nulle part ailleurs en Belgique, *Corymbites purpureus* Poda, *Lathrobium rupicola* Czwal., *Argynnis paphia valesina* Esp., *Mychothorax acervorum* Fab., qui est une fourmi de montagne, et *Sericomyia lappona* L., celle-ci abondante à la Baraque Michel. Il se fait simplement qu'en Ardenne et particulièrement à la Baraque Michel, il y a plus qu'ailleurs des biotopes convenant encore à des reliques glaciaires.

La division d'un pays aussi petit que le nôtre en régions faunistiques n'a d'ailleurs qu'une valeur très relative et n'est que l'expression d'une moyenne déterminée par le climat, la nature du sol et la population végé-

tale et animale. L'on voit qu'une espèce peut exister dans plusieurs régions différentes à condition que le biotope qu'elle exige s'y trouve et des districts très distincts pour l'ensemble de la faune peuvent présenter des associations animales locales semblables. Les marais des environs de Tournai ont une population ornithologique comparable à celle des marais de la Campine, ce qui n'est point un motif pour distinguer en Belgique un « district marécageux ». Il n'y a pas lieu non plus de réunir les dunes littorales aux dunes de la Campine anversoise ; les dunes littorales constituent un facies du district flandrien au même titre que ses polders ou ses alluvions.

M. Hauman, après avoir manifesté ses regrets de ce que l'intéressante communication de M. Lameere n'ait pas été annoncée d'avance, ce qui lui aurait permis d'apporter à la discussion des arguments plus précis que ceux qu'il pourra donner dans une réponse improvisée, déclare se rallier à l'opinion de M. Lameere pour la suppression du district sous-alpin, vraiment trop réduit et trop peu caractérisé pour être maintenu comme district, ainsi que du district crétacé. Mais il croit nécessaire de maintenir un district littoral indépendant du district flandrien, en raison du caractère trop nettement tranché de sa végétation, caractère que l'on retrouve identique sur une très grande extension du littoral européen, et cela d'une façon indépendante de la végétation de l'hinterland limitrophe. D'après lui, ce district ne comprendrait que l'association psammophile des dunes et l'association halophile de terrains et eaux saumâtres.

LA PROTECTION DE LA NATURE EN BELGIQUE ENVISAGÉE PARTICULIÈREMENT AU POINT DE VUE SCIENTIFIQUE

par J. M. DERSCHEID

Docteur en Sciences (Bruxelles)

La nécessité de protéger, en raison de leur intérêt pour la Science, certains sites naturels remarquables et certaines espèces animales et végétales particulièrement précieuses pour les recherches des Savants, est loin de figurer pour la première fois à l'ordre du jour des assemblées scientifiques, dans notre pays.

Dès 1902, sur proposition de M. le professeur Ch. Bommer, le Conseil supérieur des Forêts suggérait au Gouvernement la création, dans des endroits judicieusement choisis, de « *réserves nationales* » où le caractère inculte ou boisé serait mis à l'abri de toute atteinte.

En 1905, le professeur Leo Errera fit voter par la classe des sciences de l'Académie royale de Belgique une motion semblable, invitant M. le Ministre de l'Agriculture à créer sans retard dans les régions les plus caractéristiques de notre pays, Dunes, Rochers de la Meuse, Campine, Hautes-Fagnes, etc., des *réserves naturelles*, qui augmenteraient d'une façon durable le patrimoine scientifique de la nation, en rendant possible dans l'avenir l'étude de nombreuses questions biologiques que l'on ne peut songer à envisager dans des territoires profondément troublés et remaniés par l'intervention de l'Homme moderne.

En 1911, sur proposition de M. le professeur Léon Frédéricq, la classe des sciences de l'Académie, précisant son point de vue, réclama la création de réserves dans les Hautes-Fagnes, de manière à y conserver, sur une étendue suffisante l'aspect si caractéristique et si pittoresque, et à y préserver la flore et la faune glaciaires, menacées d'une destruction prochaine par les travaux d'assèchement et de boisement.

La même année, le programme de la Commission royale des Monuments (créée dès 1835) fut élargi de façon à permettre à ce collège de prendre part à la sauvegarde des sites naturels, envisagés cette fois plus spécialement au point de vue esthétique.

En 1912, le professeur Jean Massart fit paraître son beau livre sur *La Protection de la Nature en Belgique*, livre où il condensait les arguments qu'il avait mis en valeur depuis des années au cours de son ardente campagne pour la conservation des beautés et des richesses naturelles du pays.

L'année suivante, Jean Massart représenta officiellement la Belgique à la Conférence internationale de Berne 1913, à laquelle les délégués de dix-sept gouvernements décidèrent la création d'une Commission permanente internationale chargée de traiter des questions de protection de la nature ayant un caractère général ; la guerre porta malheureusement un coup fatal à ce nouvel organisme sur lequel tant d'espoirs avaient été fondés.

En 1923, un certain nombre de zoologistes et de botanistes unirent à plusieurs reprises leurs voix pour demander au Département des Colonies de prendre des mesures immédiates pour empêcher la destruction de tant d'animaux et de plantes rares ou intéressants au Congo Belge. Depuis lors, il ne s'est pas passé d'année sans que les institutions et les sociétés scientifiques ne soient revenues à la charge. Bien que je craigne de passer, faute de temps, plusieurs noms sous silence, permettez-moi de vous rappeler les éloquents plaidoyers en faveur des espèces et des sites menacés, que nous avons entendu prononcer, à la Société royale de Zoologie, à la Société royale de Botanique, au Musée du Congo Belge, au Jardin botanique de l'Etat, au Musée royal d'Histoire naturelle, à la Société de Géologie, à la Société de Géographie d'Anvers, et en tant d'autres occasions encore, par des personnalités scientifiques telles que MM. les professeurs Lameere, de Selys-Longchamps, Frédéricq, de Wildeman, Bommer, Bouillenne, Schouteden, V. Van Straelen, van den Broeck, Leplae, Ledoux, Robyns, et plusieurs autres.

Il me semble difficile de croire, Messieurs, qu'en présence d'une telle unanimité dans les revendications des institutions scientifiques et des hommes les plus éminents dans le domaine des Sciences naturelles, notre Gouvernement reste insensible aux appels faits dans l'intérêt hautement compris de la Belgique et de la Science.

Qu'a-t-on réalisé jusqu'à ce jour ? Que reste-t-il à faire ?

En réponse à ces deux questions, permettez-moi d'envisager successivement le problème de la protection de la nature, tel qu'il se pose, d'abord dans la métropole, ensuite dans notre empire colonial, enfin au point de vue de la coopération internationale.

La protection de la faune, de la flore et des sites géologiques en Belgique métropolitaine

Dans ce domaine, nous n'avons pas encore à nous enorgueillir des résultats obtenus, malgré l'activité avec laquelle les hommes dont je vous ai rappelé les noms n'ont cessé de prêcher la bonne parole.

Si l'on n'envisage pas les activités de l'excellent Service des Eaux et Forêts, qui obéit, au Ministère de l'Agriculture, à des préoccupations d'ordre fondamentalement différent, ni les victoires remportées par la Commission royale des Monuments et des sites qui, comme je l'ai dit, se place à un point de vue autre que le nôtre, notre bilan sera vite fait. A côté de lois pour la conservation des forêts, qui sont assez quelconques et qu'il faut d'ailleurs rajeunir périodiquement, et d'une légis-

lation sur la chasse, la pêche, la protection des oiseaux utiles, etc., législation fort en retard sur celle qui est en vigueur dans de nombreux pays d'Europe et d'Amérique, il n'y aurait à mentionner que quelques mesures provisoires ou d'intérêt tout à fait local.

A la base de tout le mouvement pour la conservation de la nature, se trouve l'établissement d'un système de réserves naturelles. Presque partout, dans les pays civilisés, on a vu éclore en grand nombre, depuis vingt-cinq ans, de ces réserves, parcs nationaux, sanctuaires, monuments de la nature, refuges pour la faune, stations botaniques protégées, etc. Tantôt elles sont le fruit de l'activité des sociétés particulières, comme c'est le cas pour plus de 35 réserves naturelles aux Pays-Bas ; tantôt, ce sont les pouvoirs publics qui les ont progressivement établies, comme nous le voyons pour les centaines de « Naturschutzgebiete », en Prusse, et pour les parcs nationaux de Suède, de Suisse, d'Italie, de Nouvelle-Zélande, du Japon, etc. Même dans les pays où les idées utopiques ne sont certes pas une maladie nationale, on voit les gouvernements faire d'immenses efforts pour réaliser un programme aussi désintéressé. Le parlement américain a voté, par exemple, tout récemment un crédit de huit millions de dollars pour l'achat de vastes terrains destinés à conserver la faune ornithologique de l'Amérique du Nord. En Belgique, rien de comparable n'a été fait jusqu'à présent. Une seule réserve a jusqu'ici été établie pour raisons scientifiques. Il s'agit d'une très étroite bande de terrains marécageux, à l'embouchure de l'Yser, qui a été organisée, il y a six mois, en réserve absolue pour la protection des oiseaux d'eau migrateurs. Cette unique victoire est due à notre confrère, M. le Dr Van Straelen, le distingué directeur du Musée royal d'Histoire naturelle.

Rien de définitif n'a été fait pour sauvegarder la moindre parcelle de notre cordon de dunes littorales, rongé chaque année et tout près de disparaître, au moins sous sa forme primitive. Rien de pratique n'a été entrepris pour réserver, dans l'intérêt des botanistes des générations futures, un morceau de notre belle Campine, qui pourtant n'est pas encore surpeuplée. Même dans le cas des Hautes-Fagnes, dont l'Académie royale réclamait déjà il y a vingt-cinq ans la protection, rien n'a été fait, en dehors de quelques promesses vagues et provisoires des ministres et des hauts fonctionnaires compétents. Là aussi pourtant des mesures énergiques et immédiates s'imposent si l'on veut empêcher le défoncement irrémédiable de toutes les tourbières et arrêter le flux montant des plantations d'épicéas qui recouvrent chaque année un peu plus, de leur manteau comparable, biologiquement, à un désert, cette zone intéressante entre toutes de notre patrie. Un des derniers vestiges de la Belgique ménapienne, la boucle de l'Escaut à Overmeire, semble être définitivement perdu depuis quelques années, et les guinguettes y remplacent à jamais les beaux bois marécageux où les chercheurs de l'ancienne station biologique, fondée par le Dr Rousseau, trouvaient de si riches matériaux d'études.

La protection de la nature au Congo et dans le Ruanda-Urundi

Ici, les résultats obtenus, sans être encore bien satisfaisants, sont toutefois plus encourageants.

A la demande des naturalistes, tant de la Belgique que de l'étranger, le département des Colonies, le Gouvernement général et les Gouverneurs de province ont pris une série de mesures heureuses, tendant d'une part à accorder une protection partielle ou complète à certaines espèces dans toute l'étendue de la colonie, d'autre part à créer des réserves forestières et des réserves de chasse, surtout dans la partie la plus orientale du Congo et dans le Ruanda-Urundi.

Quoiqu'un peu désuète, la législation sur la chasse serait bonne, au moins dans ses principes fondamentaux, si l'on voulait et si l'on pouvait l'appliquer en réalité. Dans la pratique, elle reste trop souvent lettre morte, faute d'une organisation spécialement chargée de la faire respecter. Le seul remède à cette situation consiste en la création d'un département de la chasse et de la pêche, comme il en existe dans la plupart des colonies britanniques. Sans cela, il est facile de comprendre que, d'ici deux ou trois lustres, il restera peu de chose de nos éléphants, dont on massacre près de 30.000 individus par an, de nos girafes et de nos rhinocéros noirs, dont il ne subsiste que quelques petits troupeaux, et de tant d'autres animaux.

Au point de vue flore, nous devons constater qu'à l'heure actuelle, le Congo Belge est la seule grande colonie du monde qui ne possède encore ni législation forestière, ni service forestier. La destruction des forêts s'y fait avec une rapidité extrêmement inquiétante et dont les résultats les plus graves et les plus néfastes se font sentir dans la région des Grands-Lacs. Nous avons appris, tout récemment, avec une très vive satisfaction, que le département des colonies avait mis à l'étude un projet de décret forestier. D'autre part, l'actif gouverneur de la Province Orientale, M. A. Moeller, travaille à la constitution, dans cette province, d'un vaste réseau de réserves forestières, notamment dans les districts qui souffrent déjà le plus du déboisement intensif.

Enfin, il y a lieu de signaler l'œuvre entreprise par le Comité spécial du Katanga, dans son domaine, où il a créé un service forestier particulier.

La plus belle victoire de notre mouvement, au Congo, a été remportée, avec l'auguste appui de S. M. le Roi, lors de l'établissement dans le Kivu et le Ruanda, de la première grande réserve naturelle intégrale du continent africain, le Parc National Albert.

Créé en principe dès 1925, dans le but de sauver de l'extermination des animaux spécialement remarquables, les Gorilles, par exemple, et des forêts splendides, le Parc National Albert a reçu, en 1929, en même temps qu'un accroissement considérable de territoire (qui lui donne actuellement 200.000 hectares de terres complètement réservées et 100.000 hectares de zones de protection), son organisation pratique et son statut définitif. Ce merveilleux domaine est désormais placé sous le contrôle d'une Commis-

sion scientifique dans laquelle on a tenu à réserver une place importante aux savants étrangers. Nous avons déjà commencé ses travaux d'aménagement, et nous y disposerons notamment, d'ici peu d'années, grâce à l'aide du Gouvernement, d'une station scientifique centrale, avec bibliothèque, musée de comparaison, laboratoires et maisons de passagers, qui sera ouverte largement à tous les chercheurs.

Avec l'approbation de principe de M. le Ministre des Colonies, nous étudions, pour le moment, d'accord avec les autorités locales, la possibilité d'appliquer le même programme à d'autres régions intéressantes, et de créer à côté du Parc National Albert, dans un but scientifique, plusieurs autres grandes réserves naturelles intégrales.

La protection de la nature au point de vue international

Au fur et à mesure que les divers pays reconnaissaient l'urgente nécessité de prendre dans leurs territoires respectifs des mesures énergiques pour la défense des espèces et des sites naturels, ils admirent aussi tout l'intérêt qu'il y aurait à établir une corrélation entre leurs efforts dans ce but, notamment pour se communiquer les résultats obtenus, échanger le fruit de leurs expériences, prendre des mesures concertées pour un but similaire et traiter de commun accord divers problèmes de portée internationale, tels que la conservation des Oiseaux et des Poissons migrateurs, la protection des Mammifères marins, celle des grandes forêts tropicales, la concordance des réglementations de chasse et des restrictions douanières dans les colonies, etc... Tel était le rôle de la Commission permanente internationale née de la Conférence de Berne 1913, à laquelle la Belgique avait officiellement pris part.

Après la guerre, cette Commission qui n'avait pu être rétablie fut remplacée, à la demande d'un grand nombre d'institutions et d'associations intéressées, par un Bureau international créé en 1928 à la suite d'une décision de l'Union internationale des sciences biologiques, branche du Conseil international des recherches. Ce bureau, qui porte le nom d'Office international pour la protection de la nature, comporte actuellement une Section de corrélation, en rapport avec près de 400 institutions et sociétés réparties dans cent cinquante Etats différents, et une Section de documentation, qui est à l'heure présente le plus riche centre d'information scientifique sur la matière, disposant d'une importante bibliothèque, de vingt-deux mille dossiers d'archives, d'un personnel spécialisé, et de plusieurs publications périodiques. L'Office international a son siège à Bruxelles, et compte trois Belges dans son Conseil d'administration. Cette institution a été soutenue, jusque maintenant, principalement par l'initiative privée. Dans le but d'assurer la continuité de ses activités, et d'en étendre l'influence et le champ d'action, quatre ou cinq grands pays d'Europe viennent de mettre à l'étude sa transformation en une institution officielle, contrôlée et subventionnée par les gouvernements, et régie par un statut comparable à celui d'autres organisations internationales, le Conseil pour l'exploration de la mer, par exemple.

Il est à craindre, si ce programme se réalise, que ce Bureau international ne puisse garder son siège dans notre pays que si le Gouvernement belge s'associe aux gouvernements auxquels j'ai fait allusion, pour accorder également à l'institution son appui moral et matériel.

Nous croyons qu'il est désirable que cet organisme international, créé par une résolution à laquelle les représentants du monde scientifique belge au sein de l'Union des sciences biologiques avaient pris part, reste établi sur notre territoire national, et qu'il puisse y exercer une activité féconde pour une meilleure protection de la nature.

Comme conclusion à ce que je viens d'avoir l'honneur de vous exposer, je vous proposerai, Messieurs, que les sections du Congrès national qui s'intéressent à la question de la protection de la nature rédigent de commun accord un projet de motion à soumettre à l'approbation de l'assemblée générale du Congrès. Cette motion exprimerait les vœux de la majorité des représentants des sciences naturelles à propos des mesures à demander au Gouvernement pour assurer une meilleure protection aux animaux, aux plantes et aux sites d'intérêt scientifique en Belgique, au Congo Belge et au Ruanda-Urundi, et pour permettre à notre pays de prendre désormais une part plus active dans le mouvement international pour la défense de la nature.

BIOLOGIE ET HISTOIRE NATURELLE

par Aug. LAMEERE

Professeur à l'Université de Bruxelles

Dans l'esprit des organisateurs de ce Congrès des Sciences, les différents chefs de laboratoire étaient appelés à indiquer les traits caractéristiques de leurs recherches et à en exposer les tendances. Directeur de l'Institut zoologique Torley-Rousseau de l'Université de Bruxelles, je me permets d'enchâsser ma communication dans un exposé général plus large que j'intitule : « Biologie et Histoire naturelle ».

L'Institut est rattaché à la chaire de Zoologie systématique ; il a été fondé en 1927 par M[me] Paula Torley-Keller en souvenir de son fils, Charles-H. Torley, et de la collaboration de celui-ci avec le D[r] Ernest Rousseau. Son but est de faire progresser la Zoologie proprement dite et ses publications sont réunies dans un périodique, le *Recueil de l'Institut zoologique Torley-Rousseau*, dont le troisième volume est sous presse.

Zoologie systématique, Zoologie proprement dite, Zoologie pure, Zoologie concrète, sont pour moi des expressions synonymes ; je les comprends comme étant l'étude de l'évolution du règne animal, comme étant l'Histoire naturelle des Animaux.

L'on peut aborder la connaissance des êtres cellulaires à deux points de vue : scruter les phénomènes de la vie ou bien envisager les organismes eux-mêmes.

Dans le premier cas, l'on fait de la Biologie proprement dite, l'on pourrait dire plutôt de la Physiologie, car des deux autres disciplines classiques de la Biologie, la Morphologie ne s'explique que par la Physiologie et l'Ethologie n'est aussi que la Physiologie. Vu la traditionnelle répartition des êtres vivants en Végétaux et Animaux, l'on peut parler de Biologie végétale ou de Biologie animale.

Si l'on étudie au contraire les divers Végétaux et Animaux pour eux-mêmes, l'on fait de l'Histoire naturelle des uns et des autres, de la Botanique ou de la Zoologie.

Les deux points de vue se complètent l'un l'autre, l'Histoire naturelle étant la base de la Biologie, celle-ci à son tour venant féconder l'étude de la Botanique et de la Zoologie.

L'on a pris l'habitude, à la suite d'Aug. Comte et de H. Spencer, de classer les sciences en allant des plus abstraites aux plus concrètes dans un ordre bien connu : Mathématiques, Astronomie, Physique, Chimie,

Biologie, Sociologie. Mais l'on perd de vue que parallèlement à cette série, il en existe une autre formée de l'Astronomie physique, de la Météorologie, de la Géologie, de la Minéralogie, de la Botanique, de la Zoologie, de l'Anthropologie et de l'Histoire. La première série est formée de sciences normatives plus abstraites et plus générales, envisageant des phénomènes actuels ; la seconde comprend des sciences plus concrètes et plus spéciales dans lesquelles domine le caractère comparatif et surtout historique. La Botanique, la Zoologie et l'Anthropologie forment le pendant dans la seconde série de la Biologie.

L'Institut zoologique Torley-Rousseau, consacré à la Zoologie, étudie les Animaux pour eux-mêmes, ne fût-ce que comme œuvres d'art naturelles et sans aucune préoccupation d'ordre utilitaire. Le but est d'arriver à comprendre les Animaux en s'adressant à toutes les disciplines susceptibles de nous éclairer et notamment en s'appuyant sur les magnifiques progrès réalisés en ces dernières années par la Biologie générale et par la Physiologie. Le point de vue dominant doit être le point de vue historique, l'édification de l'arbre généalogique des Animaux, la phylogénie, mais une phylogénie explicative et dynamique. Il n'est plus personne de sensé aujourd'hui pour nier le transformisme, mais l'on peut discuter sur le mécanisme naturel de l'évolution. Il semble bien que le principe des mutations, transformations discontinues et héréditaires, vraisemblablement de nature chimique, suffise à expliquer l'origine des espèces nouvelles, et que la sélection naturelle intervienne seulement pour émonder l'arbre généalogique et ne laisser subsister que les mutations favorables. L'adaptation est probablement aidée par l'orthogénèse et par la corrélation des caractères. Ce sont là problèmes essentiels qui peuvent être abordés non seulement directement, mais encore indirectement, car la reconstitution de l'histoire des Animaux, de leur passé morphologique, physiologique et éthologique, est de nature à nous permettre d'avoir des lueurs sur l'évolution même et sur ses caractères généraux.

Mon assistant, M. R. Jeener, qui est en ce moment à Amsterdam, au laboratoire de M. le professeur Kappers et qui est empêché d'assister au Congrès, nous a adressé une lettre dans laquelle il envisage l'avenir de la Zoologie, et j'en extrais le passage suivant :

« Il me semble tout d'abord que pour faire l'étude critique de la production zoologique moderne, il importe de distinguer deux types de travaux : ceux qui se préoccupent des phénomènes les plus généraux de la vie des animaux (embryologie causale, physiologie générale, etc.) et ceux qui étudient les animaux pour eux-mêmes (zoologie proprement dite de M. Lameere) et les considèrent dans ce qu'ils ont de particulier à chaque espèce et à chaque groupe.

Alors que les travaux de la première catégorie ont un intérêt général indiscutable et conduisent à des résultats toujours plus précis et plus complets, ceux de la seconde se perdent trop souvent dans des discussions oiseuses ou dans l'étude de détails infimes.

Laissons de côté les premiers pour ne nous occuper que des seconds.

La médiocrité qui les caractérise doit être attribuée à diverses causes. La première que j'aperçoive est l'illusion que tout détail nouveau mérite d'être décrit séparément, ayant des chances de venir s'insérer un jour dans une vaste synthèse. Or, la zoologie ne progresse nullement en s'appuyant sur la poussière de notes et de notules qui encombrent sa bibliographie. Chaque étape dans la résolution d'une question générale est marquée par la publication d'un travail d'ensemble reposant sur une vaste série de faits découverts et décrits le plus souvent par l'auteur lui-même.

Une seconde cause de l'absence totale de tout aliment intellectuel dans beaucoup de travaux zoologiques est un abandon très général du point de vue historique. Il est en effet devenu de tradition d'admettre que l'intérêt de la phylogénèse est épuisé et que les résultats auxquels elle a conduit ne pourraient être dépassés, si ce n'est sur des points de peu d'importance.

Il y a là une grave erreur, qui s'explique aisément si l'on songe que les quelques rares travaux phylogénétiques publiés à l'heure actuelle sont presque exclusivement morphologiques.

La séparation du point de vue morphologique et du point de vue physiologique a pu être justifiée jusqu'à un certain point à l'époque où la zoologie se préoccupait surtout de relier les formes animales les unes aux autres en montrant qu'un même plan fondamental se retrouvait dans toutes.

La phylogénèse moderne doit se donner pour tâche d'essayer de comprendre, d'un point de vue fonctionnel, les divergences profondes qui viennent séparer, au cours de l'évolution, des organismes liés par une parenté préalablement établie sur des bases purement morphologiques.

La phylogénèse devient dès lors une étude de l'adaptation conçue non comme un fait actuel, mais comme un phénomène historique et son intérêt s'accroît considérablement.

Poursuivant notre examen, nous nous apercevons que l'abandon de l'étude des animaux pour eux-mêmes au profit de l'embryologie causale, de la génétique, etc... doit être en grande partie attribué au fait que cette étude n'a pas suivi le mouvement général de la recherche contemporaine. Nous ne pouvons, en effet, plus nous contenter d'explications purement historiques. La simple constatation des faits et la connaissance de la position qu'ils occupent dans un système ne satisfait que notre besoin de simplification. Ce que nous cherchons est avant tout une explication causale

Or, la phylogénèse nous offre à cet égard un champ de recherches immense. Il apparaît en effet de plus en plus que l'évolution des divers systèmes d'organes obéit à un complexe de lois dont dépend étroitement l'harmonie que nous voyons s'établir entre eux, et grâce auxquelles se réalise l'adaptation étroite des organismes à leur fonctionnement. Ces lois phylogéniques ont avec celles qu'a mises en évidence l'embryologie causale, les rapports les plus étroits, ce qui ne peut nous étonner puisqu'une série phylétique n'est qu'une chaîne d'ontogénèses successives.

Pour résumer les quelques remarques que je viens de faire, il me suffira de dire :

1° Que les recherches de la zoologie proprement dite doivent représenter toutes un effort de synthèse ;

2° Que l'étude des animaux pour eux-mêmes n'a d'intérêt que pratiqué d'un point de vue historique et doit tendre à la reconstitution des diverses phases de l'adaptation de ceux-ci à leur genre de vie ;

3° Que les recherches historiques peuvent conduire à l'établissement des lois de l'adaptation morphologique et prendre une place toute nouvelle parmi les disciplines de la biologie moderne. »

PRÉSENCE DU GLYCOGÈNE DANS LES ORGANISMES EN RÉGÉNÉRATION (1)

par Guillermo CASTRO RODRIGUEZ et Nelly POURBAIX

Loeb (1892) a repris et modernisé l'idée de Bonnet, Dutrochet et surtout de Sachs, relative à l'influence dans la régénération du liquide nourricier — sève ou sang — et des substances formatives spécifiques que ce liquide contiendrait. Cette hypothèse s'est trouvée singulièrement précisée et renforcée par les études physiologiques des hormones et des glandes à sécrétions internes. Mais si la théorie de Loeb, concernant la présence des substances formatives spécifiques, paraît trop spéculative, il n'en est pas moins vrai que ce biologiste a été un des premiers à insister sur les rôles des facteurs humoraux, considérés dans le sens le plus large, dans les processus de la régénération. La composition du milieu humoral — sève ou sang — de l'organisme en régénération serait d'une importance considérable.

On commence d'ailleurs à poursuivre activement et systématiquement l'étude histophysiologique et histochimique du développement organogénétique. Aux processus morphogénétiques sont liés des processus métaboliques, ainsi que M. Konopacki et Mme Konopacka (1926) l'ont récemment montré dans le développement de la grenouille. Métabolismes protéiques, glycogénétiques, lipoïdiques se succèdent et se superposent et tout particulièrement les deux derniers, apparaissent et se généralisent dans un embryon selon le gradient morphogénétique antéropostérieur, ou céphalocaudal de la morphogénèse, de telle sorte que « ces échanges chimiques seraient en rapport avec les processus du développement qui ont lieu dans l'embryon ».

A ces observations doivent être ajoutées les constatations de Smith (1915) selon lesquelles chez les Cladocères se réalise une alternance de métabolisme graisseux, et métabolisme glycogénétique, respectivement en corrélation avec les périodes comprises entre deux mues et durant lesquelles il n'y a pas de croissance et les périodes de mue concomitantes aux phases de croissance. D'ailleurs la période de développement parthénogénétique actif, correspond aux évaluations du taux du métabolisme glycogénétique.

Vitzou (1882), constate, chez les Crustacés supérieurs, une très forte augmentation de la matière glycogène, dans la période préparatoire et pendant la mue, au cours de laquelle elle est utilisée.

(1) Travail fait au laboratoire de zoologie, Faculté des sciences de l'Université de Bruxelles et au laboratoire maritime de Wimereux, Université de Paris.

Claude Bernard (1879) qui signala le glycogène comme la matière de réserve hydrocarbonée dans tous les groupes animaux, disait : « Examinons l'œuf de mouche ; il renferme quelques granulations de glycogène, comme le germe de tous les animaux, car la nécessité de cette substance nutritive se manifeste dès l'origine de la vie... »

Et dernièrement Jordan (1928) montre que, en principe, tout tissu embryonnaire contient du glycogène constituant une source d'énergie, ou bien une réserve.

Il était donc intéressant d'entreprendre cette étude histochimique dans les cas de la régénération, au cours de laquelle se réalise une réelle organogénèse. C'est le premier résultat de cette étude que nous publions dans cette note.

Nos recherches ont porté sur les éponges d'eau douce (*Spongilla lacustris* et *Ephydatia fluviatilis*) et les *Polyclinidae*.

Spongillidae. — On sait que dans ce groupe le bourgeonnement discontinu se fait par les gemmules. D'après les auteurs (Lieberkühn, 1856 ; Zykoff, 1892 ; Evans, 1900 ; Jaffe, 1912 ; Müller, 1914 ; Wierzejski, 1915), la gemmule est formée d'un amas d'archéocytes enveloppés d'une double membrane chitineuse, renforcée de spicules. Ces archéocytes sont bourrés de réserves sous forme d'inclusions lenticulaires. Evans (1900) a décrit l'apparition des granules de réserve dans les archéocytes au moment où ceux-ci commencent à se grouper pour édifier les gemmules. Ceci indique un changement dans le métabolisme de l'éponge, propice à l'accumulation de réserves utilisées au cours du développement des gemmules. Celui-ci peut être provoqué en hiver, si on maintient les gemmules en aquarium thermostatique à une température de 20 à 25 degrés. En suivant le développement de ces gemmules (objet d'une publication ultérieure), nous avons observé l'épuisement de ces réserves utilisées au cours des processus organogénétiques.

L'étude microchimique de ces inclusions, dont l'apparition coïncide avec celle d'une nouvelle phase de régénération, révèle la présence du glycogène, associé toutefois à des éléments protéiques.

Nos recherches ont porté sur du matériel frais et sur du matériel fixé au Bouin et au Dustin et débité en coupes.

I. *Réactions caractérisant le glycogène :*

a) Solution iodo-iodurée (liquide de Lugol) :

1° Sur le matériel frais : les inclusions se colorent en brun-rouge. Par la chaleur, la coloration régresse jusqu'au jaune-paille qui se maintient (cette dernière coloration est caractéristique des matières protéiques).

2° Sur coupes, après fixation au Bouin et au Dustin : même résultat.

b) Méthode de Best :

1° Sur le matériel frais : colore les inclusions en un beau rouge incarnat.

2° Sur coupes, après fixation au Bouin et au Dustin : même résultat. Dans les deux cas, la différenciation doit être bien poussée.

c) Méthode de Vastarini-Cresi (fuchsine basique, résorcine) :

1° Sur le matériel frais : colore les inclusions en un beau rouge grenat.

2° Sur coupes, après fixation au Bouin et au Dustin : même résultat.

d) Insolubilité dans l'alcool ;

e) Absence de coloration par l'acide osmique.

II. *Réactions caractérisant les matières protéiques :*

a) Rouge neutre :

1° Sur matériel frais : les inclusions se colorent en un beau rouge incarnat.

b) Réactif de Millon : les inclusions se colorent nettement en rouge. Pour avoir une bonne réaction, il faut fixer au préalable à l'alcool absolu, puis colorer à chaud, sans cela la coloration n'apparaît pas. Cette méthode n'a aucune valeur sur les coupes provenant du matériel fixé au Bouin ou au Dustin ; d'ailleurs la coloration n'a pas lieu dans ce cas.

c) Comme nous l'avons signalé plus haut, le Lugol colore ces inclusions en brun-rouge, ce qui caractérise le glycogène mais par élévation de la température la coloration régresse et se maintient au jaune-paille, même après refroidissement. Or, on sait que les matières protéiques se colorent en jaune-paille par l'iode. Pour revenir au brun-rouge, il faut ajouter à nouveau du Lugol.

d) Nous remarquons que ces inclusions sont très avides des colorants nucléaires (hématoxyline), ce qui les rapprocherait aussi des matières protéiques.

Ces résultats nous permettent de conclure que les réserves des archéocytes de gemmules des Spongillidae sont constituées par un composé glyco-protéique. Smith était arrivé à des conclusions semblables pour le glycogène des Cladocères, de même que Konopacki pour le glycogène dans l'œuf de Rana fusca.

Tuniciers. — Dans le groupe des Polyclinidae, où l'épicarde prend un grand développement, nous savons que cet organe est l'élément régénérateur.

Il est très probable, comme le signale Caullery (1894), qu'il y a une analogie entre les Gemmules d'Eponges, les statoblastes de Bryozoaires, les bourgeons des Polyclinidae et nous ajouterons les bourgeons des Clavelines.

Nous avons fait à la Station maritime de Wimereux l'analyse histochimique des post-abdomen des Polyclinidae. Ces recherches ont été faites en avril 1930 sur Circinalium concrescens et Morchelium argus. Nous nous trouvions donc en présence de jeunes colonies de blastozoïdes issues de la régénération des post-abdomen des individus adultes de l'été dernier.

Nous avons appliqué à ces post-abdomen, les mêmes réactions qu'aux archéocytes des Gemmules d'Eponges et les résultats ont été concordants.

Le liquide de Lugol, employé sur le frais, colore le post-abdomen en brun-rouge, puis par élévation de température, la teinte pâlit et ne reprend jamais la couleur brun-rouge primitive, après refroidissement. Cette

simple réaction caractérise la présence à la fois du glycogène et de substances protéiques.

Les méthodes de Best et de Vastarini-Cresi, employées sur le matériel frais et sur coupes après fixation à l'alcool absolu, donnent les réactions en faveur du glycogène.

Le rouge-neutre a coloré fort bien les post-abdomen sur le vivant. L'insolubilité de cette substance dans l'alcool, l'éther, a été constatée, de même que l'absence de coloration par l'acide osmique.

La saccharification (1) a donné ici de nouvelles preuves de la présence du glycogène. Les post-abdomen (en opposition aux expériences témoins sur des individus sans post-abdomen), soumis au bain-marie pendant 90 minutes avec d'une part de la salive, d'autre part H-Cl 10 %, et traités ensuite par la liqueur de Fehling, ont donné un abondant précipité d'oxyde de cuivre. Cette dernière réaction caractérise le glucose qui provient de la saccharification du glycogène initial.

Nous arrivons à la conception que les post-abdomen des jeunes blastozoïdes sont remplis de substances de réserve qui sont des matières glycoprotéiques et nous nous proposons de poursuivre l'évolution de ces réserves au cours du développement, d'un point de vue histo-physiologique.

AUTEURS CITES :

Claude Bernard, *Leçons sur les phénomènes de la vie* (1879).

Maurice Caullery, *Contributions à l'étude des Ascidies composées* (*Bull. Sc. France-Belgique*, **37** [1894]).

Richard Evans, *A description of Ephydatia blembigia with an account of the formation and structure of the gemmule* (*Quart. Journ. Micr. Sc.*, **5**, 44 [1900]).

P. Jordan, *Ueber die Bedeutung des embryonalen Glycogens insbesondere für das Wachstum* (*Zeitsch. f. mikr. Anat.*, **6**, [1928]).

Konopacky et Konopacka, *La micromorphologie du métabolisme dans les périodes initiales du développement de la grenouille* (*Bull. intern. de l'Acad. polonaise*, série B., Sc. naturelles [1926]).

Jacques Loeb, *Les bases physico-chimiques de la régénération* (1926).

Geoffrey Smith, *The life cycle of Cladocera, with remarks on the physiology of growth and reproduction in Crustacea* (*Proc. of the Roy. Soc. of London*, s. B., **88**, [1915]).

Alexandre Vitzou, *Recherches sur la structure et la formation des téguments chez les Crustacés Décapodes* (*Arch. de Zool. Exper. et Gen.*, **5**, 10 [1882]).

---

(1) Celle-ci a pu être réalisée plus tard pour les inclusions des gemmules d'éponge.

L'ORIENTATION DES RECHERCHES D'EMBRYOLOGIE À L'UNIVERSITÉ DE BRUXELLES (FACULTÉ DE MÉDECINE)

par A. BRACHET,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

L'embryologie est une science morphologique et l'étude de la réalisation des formes que prennent les êtres vivants est son objet propre. Son but est de rechercher et de définir les facteurs et les causes grâce auxquels un être nouveau se construit au dépens d'un germe ; celui-ci, dans l'immense majorité des cas, est un œuf fécondé, c'est-à-dire une cellule dont la structure anatomique est relativement simple et dont rien, dans l'aspect extérieur, ne permet de prévoir la destinée. Pourtant pour que l'œuf se développe en un embryon puis en un organisme adulte, il suffit de le placer dans des conditions de milieu souvent fort banales. Ces conditions qui sont celles de la vie, ne font que permettre le jeu des facteurs dont l'ontogénèse est la conséquence et dont le siège est dans la substance même du germe. En d'autres termes le pouvoir de développement et de différenciation doit, pour qu'une étude analytique en soit possible, être considéré comme une fonction de l'œuf, cette expression ayant le sens qui lui est attribué en physiologie. C'est à l'étude de cette fonction que, depuis de longues années déjà, plusieurs de nos collaborateurs et nous-même avons consacré nos efforts.

Il est clair que dans l'exploration de ce domaine, la connaissance des propriétés intrinsèques des gamètes mâle et femelle (l'œuf et le spermatozoïde), des changements qu'elles subissent lorsque la fécondation a fait de l'œuf un zygote, se place à l'avant-plan et apparaît comme une nécessité préalable. Tout le monde sait que dans le dernier quart du XIXme siècle, la morphologie de l'oogénèse, de la spermatogénèse et de la fécondation avait fait des progrès considérables, et le nom de notre illustre compatriote Edouard Van Beneden reste attaché à la grande découverte de la réduction karyogamique des gamètes et de la diploïdie du noyau zygotique. Ces faits descriptifs étant acquis, la question de leur valeur fonctionnelle, de leur signification, de leur importance au point de vue morphologique, se posait pour la première fois sous une forme accessible à la recherche expérimentale.

Plusieurs méthodes pouvaient être utilisées pour cela ; nous nous sommes surtout servi de trois d'entres elles, aisément applicables aux amphibiens qui sont un excellent matériel pour ce genre de recherches et

sur lesquels ont porté la plupart des travaux faits dans notre laboratoire. Ce sont : la parthénogénèse artificielle, la polyspermie expérimentale et les destructions ou les excisions de parties déterminées de l'œuf vierge, de l'œuf fécondé et de l'œuf segmenté. Nous n'insisterons pas sur la technique parfois simple, parfois plus délicate, ni sur le détail des résultats, et nous nous bornerons à signaler rapidement ici les conclusions principales qui se dégagent de ces études.

Pour assurer le développement harmonieux d'une ontogénèse, l'œuf et le spermatozoïde ne sont pas équivalents. L'ontogénèse, c'est, pour employer une expression commode, le déroulement de toutes les tendances héréditaires que possède le germe et l'idée première qui vient à l'esprit est que l'ensemble du matériel héréditaire est fourni, à parts égales, par chacun des deux sexes. En réalité, il n'en est rien ; l'œuf à lui seul est capable, parfois dans la nature, souvent, et de façon bien plus instructive, par des méthodes de laboratoire, de construire un être nouveau, à condition que son noyau soit suffisamment pourvu de chromatine. Le spermatozoïde n'a pas ce pouvoir. Cela nous a amené à considérer dans l'hérédité deux aspects ou deux modalités que l'on peut appeler l'hérédité générale et l'hérédité spéciale. La première, c'est l'ensemble des facteurs qui font qu'un germe d'une espèce donnée est capable d'édifier un individu de l'espèce à laquelle il appartient. Elle est l'apanage de l'œuf seul et le spermatozoïde ne la possède pas. L'hérédité spéciale, c'est la tournure particulière que prend l'hérédité générale dans chaque cas individuel : c'est grâce à elle que tout représentant d'une espèce a son facies propre et diffère de tous les autres par un nombre variable de caractères minimes, par de petits détails. L'œuf possède aussi ces caractères individuels, mais ce sont les seuls que le spermatozoïde lui apporte ; celui-ci n'est donc qu'un agent d'hérédité individuelle ; il ne peut qu'imprimer de légères déviations aux détails d'une ontogénèse que l'œuf seul est capable d'accomplir tout entière.

Ainsi se précise le sens biologique de l'acte de fécondation. Le spermatozoïde en pénétrant dans l'œuf, l'active, le fait sortir de l'état d'inertie dans lequel il végète après avoir accompli le travail nécessaire à sa croissance et à sa maturation. Il lui donne donc les moyens d'entrer en développement, mais il ne peut influencer celui-ci que par de petits caractères spéciaux, individuels.

Que sont ces facteurs de l'hérédité générale et ont-ils une localisation déterminée dans le germe? La réponse à ces deux questions se dégage nettement des faits. Les recherches récentes ont démontré d'une façon concordante que tout œuf possède, sous une forme ou sous une autre, ce que, depuis Edm. B. Wilson (1904), on appelle des localisations germinales. Elles sont plus ou moins fixes ou plus ou moins labiles, ou plus exactement encore leur fixité s'établit plus ou moins tôt dans la vie de l'œuf, mais l'expérimentation peut toujours les mettre en évidence. Brièvement définies, les localisations germinales sont l'expression de l'anisotropie de

l'œuf, c'est-à-dire de son hétérogénéité morphogénétique. La destruction de l'une d'entre elles empêche la formation d'une partie déterminée, toujours la même de l'embryon. Elles sont donc des zones cytoplasmiques dont la destinée est essentiellement déterminée par leur composition même.

Il n'est pas douteux qu'elles se préparent pendant la période de grand accroissement de l'oocyte ; longtemps elles sont mal définies, c'est-à-dire que l'œuf est capable de régulation. Chez les Amphibiens, il en est ainsi jusqu'à la ponte, alors que la maturation a déjà commencé : mais dès une heure ou une heure et demie après l'imprégnation par le sperme, leur stabilisation définitive est accomplie, leur mise en place est achevée et elles ont acquis toutes leurs propriétés. L'influence de la fécondation dans ces processus qui équivalent en fait à une promorphogénèse, se dégage donc avec une grande clarté et l'on peut dire sans forcer les faits, que chez les Amphibiens, spécialement chez les Anoures, la stabilisation des localisations germinales de l'œuf est un des actes importants provoqués par la pénétration du spermatozoïde. En 1906, nous avons proposé le nom de manifestations dynamiques de la fécondation pour exprimer le sens physiologique de cet acte.

L'existence des localisations germinales étant établie, il reste à en étudier les propriétés au point de vue morphogénétique. Elles ont fait l'objet d'un grand nombre de travaux dans ces dernières années, sur les objets les plus divers et les résultats auxquels on a abouti sont d'un grand intérêt. Nous ne parlerons ici que des questions qui ont été abordées dans notre laboratoire.

1. — Dans l'œuf de Rana fusca, on peut montrer que l'évolution normale d'une localisation germinale est déterminée par sa composition cytoplasmique et que les noyaux résultant de sa cellularisation progressive pendant la segmentation n'interviennent que comme agents de réalisation. La polyspermie expérimentale dans l'œuf de Rana, donne à ce point de vue des résultats décisifs : un noyau quel qu'il soit est impuissant à détourner une localisation germinale de sa destinée normale ; il ne fait que l'assurer et la rendre possible. L'importance de ce fait pour ce qui regarde les relations du cytoplasme et du noyau, n'échappera à personne et dans cet ordre d'idées, nous ajouterons que certaines observations que nous avons pu faire sur la fécondation prématurée des œufs d'Oursin — et que Bataillon a pu récemment confirmer sur l'œuf des Amphibiens — permettent de conclure en outre, que l'état morphologique du noyau est en étroite dépendance avec les qualités du cytoplasme dans lequel il est plongé. L'autonomie du cytoplasme dans la vie cellulaire ressort clairement de ces faits.

2. — Une des caractéristiques les plus importantes des localisations germinales de l'œuf, est qu'il existe entre elles une certaine hiérarchie. Il en est de premier ordre, il en est de subordonnées ; cela veut dire qu'il en est dont le développement et la différenciation sont autonomes, spontanées, parce qu'elles trouvent en elles-mêmes tous les facteurs nécessaires. Mais

en même temps qu'elles entrent en évolution, elles agissent sur d'autres qui leur sont voisines et leur donnent une impulsion nécessaire à leur évolution ; celle-ci n'est donc plus spontanée mais doit être provoquée. C'est aux localisations primaires, spontanées, que Spemann a donné le nom d'*organisateurs*. Cette notion, dont l'importance est fondamentale, et qui jette un jour nouveau sur les mécanismes du développement embryonnaire, est encore à l'étude ; il est même à prévoir que dans l'avenir, elle subira des modifications ou des retouches. Le mot organisateur préjuge de propriétés dont l'existence n'est pas encore entièrement démontrée. Néanmoins, la présence dans le germe de « centres » d'activité plus grande et plus précoce, quelle que soit la nature exacte de cette activité, paraît ressortir avec évidence des faits connus jusqu'ici.

3. — Nous indiquerons, pour finir, une autre propriété encore des localisations germinales, très significative et assez inattendue. Evidemment, dans chaque œuf chacune d'entre elles existe en quantité déterminée. C'est de cette quantité initiale que dépend la taille de la partie du corps de l'adulte à laquelle elle donnera naissance. On peut donc en conclure que la limite théorique de la taille qu'atteindra l'organisme entier est déjà déterminée dans l'œuf fécondé ; la limite réelle étant conditionnée par des facteurs contingents, favorisant ou entravant la croissance. Cette donnée dont l'importance nous paraît grande est fondée sur des faits expérimentaux dont l'objet fut l'œuf de Rana fusca. Si, à un stade très jeune, à un moment où les localisations du système nerveux, de la chorde ou des myotomes futurs sont encore à l'état purement dynamique et n'ont encore subi aucune espèce de différenciation (sur la jeune blastula, par exemple), on détruit partiellement le matériel constitutif de ces localisations et si la destruction a été légère, le développement se poursuit et l'embryon s'ébauche. On observe dès le début (on pouvait s'y attendre) que le déficit initial a pour conséquence une réduction proportionnelle du volume de l'organe en voie de formation. Mais de semblables embryons dont une partie du corps est une sorte de miniature du reste peuvent encore se développer et vivre relativement longtemps ; ils peuvent éclore, nager dans l'eau, se nourrir ; la circulation y est parfaite et on pourrait croire que la partie en miniature va s'accroître rapidement et devenir conforme au reste du corps. Il n'en est rien cependant : si loin qu'on puisse élever ces têtards, ils ne se régularisent pas ; ce qui est trop petit le reste définitivement. On est autorisé à dire, dans ces conditions, que le matériel des localisations germinales de l'œuf a un pouvoir de croissance et de différenciation limité et déterminé par sa composition même. Il n'est pas capable, par une assimilation accrue, de réparer les pertes qu'on lui inflige.

Au point de vue biologique général, ce fait s'il se confirme et se généralise, soulèvera des questions dont la réponse sera malaisée et ajoutera en tout cas une énigme de plus à celle que nous offre la matière vivante en action. Ayons pour cela confiance en l'avenir.

APERÇU GÉNÉRAL SUR LA FONCTION DU NOYAU DANS LES PREMIÈRES PHASES DE L'ONTOGÉNÈSE

par A. DALCQ,

Professeur à l'Université de Bruxelles

Le rôle du cytoplasme de l'œuf, de ses enclaves, des ses localisations germinales dans le déroulement des phases initiales de l'ontogénèse a fait l'objet de nombreuses et fécondes investigations. La fonction du noyau n'a guère été analysée de façon aussi approfondie, bien que des points essentiels aient été acquis. Citons d'abord l'expérience d'O. Hertwig, par laquelle se trouve réfutée l'hypothèse de la mosaïque nucléaire de Roux, qui admettait une division qualitative du noyau pendant la segmentation. Diverses recherches ont ensuite montré que le développement peut indifféremment s'accomplir avec un assortiment haploïde, diploïde ou même triploïde de chromosomes. D'autre part, le résultat si décisif obtenu par Brachet dans la polyspermie expérimentale a établi que le noyau ne peut imprimer à un territoire cytoplasmique une destinée autre que celle qui lui est assignée en raison de sa position dans l'ensemble de l'œuf. On s'est aussi beaucoup occupé de l'important problème de la synthèse du matériel nucléaire, problème qui n'a pas encore reçu sa solution définitive. Mais bien des questions se posent encore : quel rôle le noyau joue-t-il dans la segmentation ? intervient-il en quelque manière dans le déclanchement et le déroulement de la gastrulation ? apporte-t-il à la morphogénèse le simple facteur de réalisation qu'est une vie cellulaire normale, ou bien exerce-t-il une fonction plus élevée, assurant, par exemple, une sorte de maturation des localisations ébauchées dans l'œuf fécondé ?

Sans avoir la prétention de résoudre de si vastes problèmes, il m'est apparu depuis quelques années que l'on pouvait en aborder fructueusement l'étude, spécialement chez les Anoures. Dans ce matériel en effet, on peut atteindre le noyau des gamètes par les radiations les plus diverses (radium, rayons X, rayons ultra-violets), parfois par des substances chimiques (O. Hertwig et son école). Dans l'œuf vierge, le noyau, en métaphase de la seconde cinèse de maturation, est aisément accessible à des lésions praticables à main libre, simplement sous la loupe binoculaire. Si l'on ajoute à cela la polyspermie expérimentale, la parthénogénèse traumatique, la faculté de combiner entre elles les diverses variations et les opérations sur la figure polaire, on voit que les possibilités d'analyse sont nombreuses. Leur seule rançon est la nécessité de couper en série tout œuf dont on veut connaître la constitution exacte !

En combinant toutes ces techniques, j'ai réussi à dégager une série de notions qui se sont peu à peu raccordées, à la manière d'une mosaïque, et qui commencent à montrer sans trop de lacunes le rôle des éléments nucléaires depuis la fécondation jusqu'à la gastrulation.

Faut-il le dire ? les résultats consistent uniquement dans une réduction, un arrêt, parfois une dissociation des processus normaux. Jamais il ne se rencontre une exagération de l'activité de l'œuf. Mais ce qui fait l'intérêt des inhibitions enregistrées et les sépare complètement de celles qui s'obtiennent par de banales modifications du milieu, c'est qu'elles résultent uniquement d'interventions pratiquées sur les gamètes avant la fécondation, ou immédiatement après celle-ci, et réalisent autant d'exemples d'effets de latence dont l'agent de transmission réside dans l'état du noyau.

Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, l'arrêt est le plus difficilement obtenu aux stades les plus jeunes : il faut des irradiations intenses pour empêcher l'apparition de la dicentrie. On y parvient cependant si l'on irradie fortement à la fois l'œuf et le spermatozoïde. La dicentrie établie, diverses dissociations se présentent. On peut d'abord, par l'emploi de la trypaflavine qui maintient la picnose de la tête spermatique, montrer l'autonomie relative du suc nucléaire qui est bien plus qu'un simple liquide d'imbibition des chromosomes. Par l'artifice de la polyspermie expérimentale à l'aide de spermatozoïdes trypaflavinés, on arrive à séparer le suc nucléaire de sa masse chromatique, et à démontrer que le premier constituant peut suffire à assurer, durant quelques cycles, la perpétuation de la dicentrie.

Cette précision acquise quant à la genèse de la figure mitotique, on peut aborder le problème de sa liaison avec la division du corps cellulaire. La combinaison de l'intoxication trypaflavique du spermatozoïde avec une piqûre de la figure polaire permet de réduire à quelques unités l'assortiment chromosomial — le génome, suivant l'heureuse expression de Guyénot — de l'œuf, ou même de l'éliminer totalement, et de démontrer que les chromosomes exercent une action immédiate sur la formation du sillon et de la membrane cellulaire. Contrairement à ce que l'on croyait établi, la présence dans l'édifice mitotique d'un certain matériel chromosomial est indispensable pour que le sillon se creuse et que la membrane se forme. Contrairement aussi à des théories récentes, le point de départ de la cytodiérèse des cellules animales n'est pas cortical, mais profond. Ce sont surtout des expériences d'irradiation des deux gamètes (1) qui permettent de définir mieux encore cette corrélation. Elles déterminent un phénomène de segmentation partielle très curieux, l'œuf se divisant en deux blastomères, dont un se divise à nouveau, et ainsi de suite jusqu'à un stade plus ou moins avancé. Il apparaît que cette localisation progressive du clivage est en rapport avec la répartition de la substance chromosomiale, même

(1) Ces expériences, ainsi que la plupart de celles qui suivent, ont été faites en collaboration avec Mlle S. Simon, Assistante au centre des Tumeurs de l'Université de Bruxelles. Certains résultats sont encore inédits.

lésée, et l'enchaînement des processus peut être résumé comme suit : pour que la cytodiérèse s'amorce, il est *nécessaire* qu'il existe au fuseau de la cinèse, lors de la métaphase, une masse de substance chromosomiale encore capable de participer aux processus d'imbibition et de condensation caractéristiques de la chromatine ; peu importe qu'elle ait perdu le pouvoir de chromo-synthèse qui est cependant sa propriété capitale ; pourvu que de la chromatine soit présente, il se produira autour des pôles une vaste gélification lors de l'anaphase, et entre ces deux sphères condensées se développera un diastème, ébauche de la cloison cellulaire. Cette sorte de diaphragme s'accrochera au cortex et déterminera par traction centripète le creusement du sillon. Si la masse de chromatine est insuffisante, le diastème et le sillon ne feront que s'ébaucher et régresseront bientôt. Si toute chromatine est absente, il n'y aura aucune tentative de cytodiérèse. Ainsi donc, durant la segmentation, les chromosomes ne sont pas seulement des éléments qui puisent dans le cytoplasme les réserves qui leur sont destinées pour s'accroître et édifier les noyaux de la larve ; ils influencent directement, à chaque cycle mitotique, le cytoplasme et sont un agent essentiel de sa division. Ils conditionnent donc la cellularisation (Brachet) de l'œuf.

Ainsi qu'il était à prévoir, il y a place pour un état intermédiaire entre le clivage limité dont nous venons de signaler l'intérêt et la segmentation normale. Celle-ci, on le sait, est parfaitement assurée par un seul génome intact, ainsi qu'on l'observe après irradiation profonde du sperme, par exemple à l'aide des rayons ultra-violets, si efficaces pour l'obtention de larves haploïdes. Mais si l'on ajoute une intervention légère sur le génome maternel, soit par une piqûre minime de sa zone polaire, ou plutôt parapolaire, soit par une irradiation modérée avec les rayons X, on fait apparaître une segmentation normale dans son évolution, mais sensiblement ralentie. Cette altération du rythme d'un processus biologique, dans des conditions de milieu absolument normales, indique la finesse de cette méthode d'analyse.

Son intérêt s'accroît encore lorsque l'on atteint la phase de gastrulation où se manifestent pour la première fois les potentialités morphogénétiques du germe. On savait, depuis les premières recherches sur la « maladie du radium » (O. Hertwig) que l'irradiation d'un des gamètes peut entraîner à la gastrulation une crise fatale pour la larve. Il s'agit d'une inertie de la masse vitelline, bloquée dans son mouvement d'ascension normal, et qui maintient ainsi le blastopore béant. Ce processus, que nous avons récemment soumis avec M[lle] Simon à une étude statistique et cytologique, provient d'un trouble du métabolisme, soit par persistance du génome irradié mais non touché dans sa chromo-synthèse, soit dans d'autres cas par l'influence de son suc nucléaire qui infecte en quelque sorte l'autre pronucleus. Mais on peut se placer, en évitant cette sorte d'intoxication, dans les conditions dites de l' « effet paradoxal » qui assurent l'éclosion d'une larve haploïde. Si l'on ajoute alors une intervention préalable adéquate sur l'autre génome, celui de l'œuf vierge en l'occurrence, on obtient une

véritable réduction quantitative de la gastrulation. C'est ce que montrent les œufs à segmentation ralentie dont nous parlions il y a un instant. Dans certains, aucune trace de gastrulation n'est perceptible, bien que l'œuf soit parfaitement segmenté et continue à respirer pendant plusieurs jours. Dans d'autres, il apparaît une lèvre blastoporale minuscule, limitée à une zone médiane et craniale, sans plus. Dans quelques-uns enfin, le blastopore se ferme lentement, mais aucune ébauche normale ne se soulève.

Il résulte donc de ces observations, et d'autres encore, qu'il ne suffit pas que l'œuf se segmente, se cellularise au degré voulu, pour que la gastrulation se fasse. Un facteur complémentaire, plus sensible que ceux qui assurent les divisions, doit intervenir pour que les déplacements cellulaires se produisent, et ce facteur est d'origine nucléaire. Peut-on aller plus loin ? Il semblerait que, par une action plus délicate encore sur le génome ovulaire, toujours avec élimination totale du génome spermatique, on pourrait arriver à obtenir des larves à formule chromosomiale sous-haploïdique. L'expérience a été tentée à maintes reprises, mais sans succès ; tous les têtards, si misérables soient-ils, sont haploïdes. Remarquons toutefois que certains présentent une gamme étonnante de variations de la formule chromosomiale avec des anomalies de morphologie qui, bien que minimes peuvent paraître une indication encourageante et incitent à recourir à des méthodes plus délicates.

Dans leur ensemble, ces recherches, envisagées à un point de vue pratique, nous mettent en mesure de provoquer des anomalies intéressantes au cours des premières phases de l'ontogénèse, et de réaliser ainsi des associations expérimentales offrant de nouvelles possibilités d'investigation. Au point de vue théorique, elles ne diminuent en rien ni la signification ni l'importance des localisations germinales. Il se peut que nos résultats prouvent seulement la nécessité d'un complexe nucléaire normal, comme agent de réalisation, pour que la morphogénèse s'accomplisse. Mais ils conduisent à dissocier les éléments impliqués dans cette notion générale, et cette analyse plus approfondie ouvre de nouvelles perspectives. On se rend mieux compte de l'importance des interactions entre le cytoplasme et le noyau et de la précision de leur mécanisme. Qu'il s'agisse de l'édification de l'appareil mitotique ou de la réalisation de la cytodiérèse, la hiérarchie des organes de la vie cellulaire est mise en évidence, en particulier le rôle essentiel des chromosomes et du nucléoplasme. Les anomalies chronologiques et quantitatives observées dans la gastrulation semblent indiquer que les localisations germinales, telles qu'elles existent dans l'œuf fécondé, n'ont pas encore atteint leur état définitif ; il ne suffit pas, pour qu'elles se manifestent, que la segmentation s'effectue ; il faut encore qu'elles subissent, tandis que se déroulent les cinèses, une élaboration progressive ; celle-ci est contrôlée par un facteur nucléaire accessible à l'expérimentateur et dont l'action semble, au moins jusqu'à présent, purement quantitative. Il n'est pas interdit d'espérer que cette idée pourrait apporter une orientation nouvelle dans l'étude de certains processus de régulation.

L'ACTIVITÉ DU LABORATOIRE D'HISTOLOGIE ET D'EMBRYOLOGIE DE L'UNIVERSITÉ DE LIÉGE

par H. de WINIWARTER

Professeur à la Faculté de Médecine

Parmi les travaux publiés par mes élèves et par moi-même, je choisirai ceux relatifs au développement des glandes génitales et à l'évolution des produits sexuels. Ce groupe constitue, en effet, un ensemble très complet de recherches qui apportèrent les résultats nouveaux les plus variés et les plus intéressants.

***

Mes études sur l'ovaire des Mammifères remontent à un travail de longue haleine, exécuté chez mon maître, Edouard VAN BENEDEN. En comparant la structure de la zone corticale aux diverses époques de la fin de la gestation et aux premières semaines de la vie extra-utérine, j'ai retrouvé, chez la Lapine, les trois catégories de cellules que Van Beneden a découvertes et distinguées chez l'Ascaris. Seulement, chez les Mammifères, les gonies, capables de se diviser, sont des cellules banales, sans aucun caractère distinctif permettant de les reconnaître des futures cellules folliculeuses, par exemple ; la multiplication des gonies prend fin quelques jours après la naissance. Au contraire, les cytes de premier ordre qui apparaissent déjà chez le foetus, se distinguent par des formes nucléaires très compliquées. Parmi celles-ci se retrouvent une série de types caractéristiques dont j'ai établi la succession : elle est à la fois spatiale et temporelle en ce sens que les premières figures, c'est-à-dire les plus âgées sont situées dans la profondeur de l'ovaire, les plus jeunes vers la surface. Ces figures se succèdent également dans les ovaires de plus en plus âgés, les diverses figures se remplaçant l'une l'autre dans un ordre déterminé et irréversible. A leur usage, j'ai créé une nomenclature qui est généralement adoptée aujourd'hui.

Ces images sont l'expression de modifications profondes portant surtout sur l'organisation de la chromatine. Aux dépens d'un noyau réticulé banal se forme un cordon chromatique de plus en plus net ; ce cordon, fin d'abord, remplit irrégulièrement toute la cavité nucléaire. Puis il s'oriente de plus en plus nettement de manière à former une série d'arceaux parallèles dont les extrémités s'appuyent sur la membrane nucléaire, en regard de l'idiosome (centrotaxie). A ce moment, les cordons se paral-

lélisent et sont nettement doubles. A ce stade fait suite un gros cordon, moniliforme, qui perd toute orientation ; enfin des cordons ou tronçons de cordons doubles qui passent bientôt à un stade de réticulum irrégulier et assez grossier.

L'analyse de ces diverses images et leur succession m'ont permis d'émettre le premier une explication nouvelle du mécanisme de la réduction chromatique ; celle-ci résulterait d'un accolement latéral des filaments chromatiques (en réalité : des chromosomes), phénomène pour lequel furent créés plus tard les termes de « conjugaison parallèle des chromosomes » et de « parasyndèse ». Cette interprétation fut très discutée au début ; elle est acceptée actuellement par l'immense majorité des cytologistes, surtout depuis que l'étude de formes plus favorables eut permis de suivre directement les chromosomes de la dernière division goniale à travers le début de la période d'accroissement (Insectes).

Je rappelle également que le mécanisme de la réduction a été découvert dans le laboratoire où, quelques années auparavant, Van Beneden découvrit le fait de cette réduction, fait qui seul permet de comprendre l'essence de la fécondation et le mécanisme de l'hérédité.

Mes recherches démontrent de plus que, lorsque l'ovule est devenu follicule primordial, le noyau, en apparence banalement réticulé, a déjà subi les phénomènes importants de la phase nucléaire de l'accroissement.

D'autre part, ces figures sont fondamentales et tout à fait générales, puisqu'on les retrouve au cours de l'ovogenèse *et* de la spermatogenèse chez les animaux autres que les Mammifères, ainsi que chez les plantes.

L'examen d'un ovaire de foetus humain de sept mois m'a convaincu que les phénomènes nucléaires de la période d'accroissement s'y déroulent absolument comme chez la Lapine.

Dans un travail ultérieur, (*Anat. Anz.* **21**), j'ai reconnu que le corpuscule sphérique considéré par M. Van Beneden et d'autres, comme noyau vitellin de Balbiani, dans l'ovocyte du Lapin, est totalement différent des formations qualifiées du même nom chez d'autres Mammifères, chez la femme, par exemple. Chez celle-ci, il s'agit très manifestement d'un idiosome avec corpuscules centraux et couche palléale. Chez le Lapin, cet idiosome se retrouve d'ailleurs, concurremment au corpuscule sphérique désigné comme corps de Balbiani, ce qui démontre péremptoirement la nature différente des deux formations.

Dans la suite, j'ai repris, sur un matériel beaucoup plus favorable, cytologiquement et histologiquement, que celui du Lapin, et en collaboration avec Sainmont, des recherches approfondies sur l'ovogenèse et l'organogenèse de l'ovaire des Mammifères (*Arch. de Biol.* **24**). Ces travaux parurent par monographies successives, chacune consacrée à l'une des formations apparaissant et disparaissant au cours du cycle évolutif de l'ovaire. Elles furent, dans la suite, réunies en un volume et constituent encore aujourd'hui l'étude la plus complète consacrée à l'ovaire d'un Mammifère et basée sur le matériel le plus abondant qui ait été réuni à cet effet. Il comprend plusieurs centaines de stades.

La conclusion fondamentale qui se dégage de cette étude, est que l'ovaire présente une évolution très compliquée, mais continue et cyclique, depuis l'apparition de l'organe chez l'embryon jusqu'à son atrophie chez l'individu sénile. Chacune des formations qui se succèdent présente une évolution progressive, une période d'état ou d'épanouissement, une période régressive ; régression parfois tellement complète qu'il n'en subsiste plus traces dans la suite. Il en résulte aussi qu'un ovaire isolé, recueilli même en pleine maturité sexuelle, ne contient jamais tous les stades de l'ovogenèse et ne peut nous renseigner que très imparfaitement sur les phénomènes qui se sont déroulés avant le moment de la fixation. L'étude d'un seul ovaire ou de quelques stades séparés par de longs intervalles ne peut aboutir qu'à des conclusions incertaines, plus souvent même erronées, et ceci explique pourquoi nous avons le droit de nous montrer difficiles envers les affirmations de chercheurs qui ne s'appuient pas sur un matériel d'âge connu, bien sérié et suffisamment abondant.

Les cordons médullaires issus de la première prolifération de l'épithélium germinatif, d'abord constitués de cellules identiques entre elles contiennent à un moment donné des cellules plus volumineuses, à noyaux arrondis (œufs primordiaux). Peu après la naissance, les cordons se chargent de lipoïdes osmiables ; puis, ovules et lipoïdes disparaissent, non par dégénérescence, mais par simple retour à l'état primitif. Bien plus tard, après la zone corticale, des ovules reconnaissables aux figures de l'accroissement se constituent. Quelques-uns peuvent progresser jusqu'à l'état de follicule médullaire ; d'où augmentation de volume notable de la zone médullaire. Mais toutes ces formations sont vouées à la déchéance ; elles sont morcelées par le tissu conjonctif et les cellules interstitielles qui isolent l'ovule et l'étouffent. Finalement, les cordons médullaires disparaissent, le volume total de l'ovaire subissant de ce chef une diminution appréciable. Les cordons corticaux (seconde prolifération) évoluent de même et toutes les formations qui en dérivent : follicules primordiaux et follicules de de Graaf s'atrésient, mais suivant une modalité un peu différente de l'atrésie des follicules médullaires. Nouvelles fluctuations de volume de l'ovaire, parallèles à cette évolution.

Pendant ce temps, une troisième et dernière prolifération, accompagnée d'une nouvelle série de figures caractéristiques de l'accroissement, produit les ovules qui fourniront des éléments capables d'arriver à maturité pendant la période d'activité sexuelle.

L'analyse des images nucléaires de l'accroissement, images plus claires, plus volumineuses que chez la Lapine, nous ont permis de confirmer la sériation précédemment établie, ainsi que la conjugaison parallèle des chromosomes. Mais nous avons reconnu d'autre part que la forme diplotène persiste jusqu'à la maturation, sans passer par une nouvelle phase de noyau réticulé. Les figures de noyaux dictyés sont, par conséquent, des formes de dégénérescence.

Pour la première fois aussi, un élément présentant tous les caractères d'un hétérochromosome fut décrit chez un Mammifère. Cette interpréta-

tion fut très discutée. En effet, chez les Mammifères, c'est d'habitude le mâle qui possède le dimorphisme sexuel ; la femelle produit des ovules qui sont tous pourvus d'un hétérochromosome, et, dans ces conditions, les deux hétérochromosomes ne se distinguent pas, en général, morphologiquement des autres chromosomes, pendant l'accroissement.

Des recherches ultérieures ont donné l'explication de ce phénomène, à première vue insolite. L'élément considéré par nous comme hétérochromosome est parfois double et correspond bien aux deux hétérochromosomes présents chez la femelle. Mais s'ils se comportent différemment de leurs congénères, ils ne le font que dans le oocytes des cordons médullaires ou corticaux primitifs. Dans les ovules définitifs (des cordons corticaux de troisième prolifération) on ne les reconnaît plus. Il semble que les premières proliférations, homologues des cordons séminifères, aient des allures masculines que les dernières, nettement femelles, ont définitivement perdues. En tous cas, la constance avec laquelle ces formations s'observent dans tous les ovaires et dans tous les ovules, démontre clairement qu'il ne s'agit pas de « nucléoles » ou d'éléments exceptionnels comme S. Gutherz a tenté de le prouver en utilisant une méthode colorante d'ailleurs inconstante.

La découverte de follicules non rompus, mais transformés partiellement en corps jaunes (xanthosomes partiels), nous a permis de trancher la question si discutée de l'origine des cellules lutéiniques.

Alors que la comparaison de follicules rompus, de plus en plus éloignés du moment de la rupture (Sobotta, Honoré), nécessite une longue série de préparations, l'examen d'une seule coupe permet de s'assurer que seules les cellules folliculeuses, en s'hypertrophiant, se transforment en cellules lutéiniques ; les cellules interstitielles de la thèque interne persistent, sans participer à cette transformation. La lutéinisation s'effectue sur place et n'atteint qu'un groupe de cellules folliculeuses, sans changements topographiques ni dislocation qui accompagnent toujours la rupture folliculaire.

Notre attention s'est aussi portée sur les phénomènes si compliqués de l'involution du corps de Wolff. La portion céphalique ne régresse qu'en partie puisqu'elle établit les connexions urogénitales, dans l'ovaire aussi bien que dans le testicule. La portion caudale qui continue à exercer la fonction urinaire plus longtemps que la précédente, et dont l'activité est évidente et se traduit par des images morphologiques nettes, dégénère plus tard en bloc. Elle est le siège de modifications épithéliales curieuses qui aboutissent à l'élimination de la majorité des canalicules urinifères. Le peu qui subsiste, constitue le paroophoron, reporté plus tard dans le ligament large.

L'abondant matériel qui forme la base de nos recherches, nous a fourni de nombreux exemples d'anomalies. Une étude générale de celles-ci nous a conduits à la certitude que les formations kystiques si fréquentes de l'ovaire ont pour origine non pas les follicules de de Graaf, mais les formations wolffiennes, soit des dérivés du corps de Wolff comme le rete et ses

dépendances, soit l'un quelconque des constituants du corps de Wolff lui-même. Nous avons observé des tumeurs épithéliales, rappelant le carcinôme, dans des ovaires d'animaux séniles.

Enfin, l'étude du stroma ovarien a permis d'y découvrir des fibres musculaires lisses, à structure embryonnaire, dont la répartition est caractéristique. Elles n'occupent que le parenchyme de la zone corticale, et sont particulièrement abondantes dans la thèque externe des follicules de de Graaf. Elles constituent des faisceaux plus nombreux et plus abondants dans le mésovaire, mais font défaut dans la zone médullaire. Elles interviennent à n'en pas douter dans la déhiscence folliculaire.

La nature musculaire de ces éléments fut contestée. Mais des expériences, faites notamment par Guttmacher, démontrèrent leur contractilité.

Dans le voisinage de l'époophoron, on rencontre régulièrement des ganglions nerveux, les ganglions (sympathiques) époophoriques, qui président à l'innervation de l'ovaire, ainsi que le démontre la distribution des fibres qui en émanent.

Dans ces recherches, un important chapitre faisait défaut : l'étude de l'ovogénèse de la zone corticale définitive jusque et y compris la maturation de l'ovule. J'ai comblé cette lacune dans une série de travaux (*C. R. S. B.*, I, II, III, 1920); *(C. R. Ass. Anat.*, 1922), qui démontrent que les étapes de l'accroissement sont fondamentalement identiques aux précédentes, sauf les noyaux synaptènes qui sont du type « abrégé » ; les noyaux diplotènes persistent longtemps dans les petits et moyens follicules. On les retrouve, mais beaucoup plus volumineux, dans les grosses vésicules germinatives des follicules prêts à mûrir. Les chromosomes des divisions de maturation sont petits et coexistent à un moment donné avec de nombreux « nucléoles » rappelant les images décrites chez les Sauropsides. Autre preuve que l'œuf des Mammifères dérive, comme l'a soutenu Van Beneden, de celui des Sauropsides par réduction du vitellus.

Après avoir établi l'évolution générale d'un type d'ovaire de Mammifère, j'ai repris l'étude de certains points dans l'espèce humaine (*Arch. de Biol.* 1910). L'involution du corps de Wolff s'y déroule à peu près comme chez la Chatte, sauf que les trois ou quatre premiers canalicules ne participent pas à la formation du rete. On retrouve très régulièrement des vestiges du pronéphros sous forme d'une petite vésicule pédiculée. Chez le fœtus de quatre mois, la portion caudale du corps de Wolff dégénère en bloc. Le canal de Muller se forme complètement dans les deux sexes et persiste chez l'homme, tout au moins en partie.

Le tissu musculaire se comporte dans l'ovaire humain essentiellement comme chez la Chatte ; l'évolution des cordons médullaires et corticaux est à peu près identique ; les différences se rattachent à la durée de la gestation relativement beaucoup plus longue.

Une étude embryologique et histologique du système nerveux ovarien (*Arch. Biol.*, 1911), a montré chez l'homme l'existence de cellules très particulières qui prennent naissance dans les nerfs (comme les futures cellules de Schwann), mais peuvent s'isoler et constituer des amas par-

fois volumineux, soit dans l'ovaire même, soit dans le mésovaire ou le ligament large. Je n'ai pas hésité à considérer ces éléments comme des cellules phéochromes en tenant compte à la fois de leur origine et de leur comportement. A la naissance, tous les ovaires en sont plus ou moins largement pourvus. Mais on les retrouve encore plus tard, et même chez l'adulte, à condition de faire des coupes en série.

Berger considère ces éléments comme des cellules interstitielles particulières, orientées par rapports aux nerfs (cell. sympathicotropes) et douées de sécrétion interne (neurocrinie). Cette fonction est fort possible ; mais les arguments purement morphologiques, établis uniquement chez l'adulte (Berger), me semblent incapables de renverser les faits embryologiques : les uns prennent naissance dans les nerfs, les autres au milieu et aux dépens des cellules conjonctives. Il y a là deux éléments distincts, que l'on ne doit pas confondre, même s'ils présentent à certains moments des ressemblances morphologiques étroites.

L'étude du système phéochrome ovarien m'a suggéré une hypothèse concernant l'ovulation spontanée. Ce serait par voie réflexe que l'accroissement en volume du follicule agirait sur les cellules chromaffines, lesquelles à leur tour agiraient sur les fibres musculaires de la thèque externe. La contraction de celles-ci provoquerait la déhiscence. En tous cas, chez les espèces où l'ovulation est provoquée, l'ovaire ne renferme pas de tissu phéochrome. C'est le cas pour la Lapine, par exemple.

Le tissu interstitiel dont l'origine fut étudiée par Sainmont, fut réexaminé par nous et l'interdépendance étroite entre les différentes poussées interstitielles et les diverses proliférations ou dérivés épithéliaux qui se succèdent dans l'ovaire, mise en relief. Cette interdépendance qui est l'évidence même chez la Chatte, nous force de maintenir notre conception du rôle trophique du tissu interstitiel, non pas dans le sens de « nourricier » — comme on continue à nous le faire dire — mais dans le sens d'un appareil régulateur (à la façon d'un nerf trophique qui n'a rien de nourricier), protecteur et stimulant à la fois.

Ce rôle est tout aussi visible dans l'espèce humaine. Le tissu interstitiel de l'ovaire (*Anat. Anz.*, 1908) procède par poussées successives en rapport avec le développement plus long de l'organe. Dans le testicule (*Anat. Anz.*, 1912), j'ai suivi l'origine et les modifications histologiques des cellules interstitielles et leur structure compliquée chez l'adulte : inclusions multiples, cristalloïdes, etc. Chez l'adulte, les cellules interstitielles ne se divisent jamais ; mais il peut se former des éléments multinucléés ; dans ce cas, la division du noyau est toujours précédée de la multiplication des centrioles.

Les connexions urogénitales peuvent à première vue s'écarter du type établi à la suite de nos recherches chez la Chatte. C'est le cas entre autres pour la Souris où l'origine wolffienne du rete fut mise en doute (Benoît). Les recherches de M[lle] J. Bovy démontrent au contraire que la Souris rentre exactement dans le schéma général. Seulement, dans cette espèce, les glomérules de Malpighi ne se forment plus (tout au plus observe-t-on parfois

une dilatation ampullaire d'un canalicule, mais jamais de glomérule vasculaire) ; ce sont par conséquent les canalicules qui fournissent, au nombre de trois, des formations pleines, puis creuses, qui se prolongent à travers le hile de la glande génitale jusqu'au voisinage des tubes séminifères et des cordons médullaires.

La portion postérieure du corps de Wolff qui, chez les autres types, dégénère en bloc et fournit le paroophoron, ne se forme plus que tout à fait rudimentairement et n'est jamais fonctionnelle. Aussi peut-on se demander comment le fœtus élimine ses déchets, le pronéphros ne se formant pas, le mésonéphros étant toujours rudimentaire et le rein définitif n'étant garni de glomérules que peu avant la naissance.

Les trois ébauches canaliculaires qui sont constantes chez la Souris (comme est constant le nombre de canalicules chez le Chat et l'Homme), se mettent en relation avec le canal collecteur, ce qui n'arrive jamais pour les ébauches postérieures.

A partir de l'embryon âgé de 13 jours, on peut distinguer le testicule de l'ovaire ; dès ce moment, le rete se constitue, puis évolue rapidement dans deux directions opposées : se compliquant chez le mâle et s'étendant fortement dans une direction céphalique, tandis qu'il régresse de plus en plus et se tasse chez la femelle.

Les changements topographiques ultérieurs amènent les trois canalicules au voisinage l'un de l'autre, ce qui aboutit à la disposition réalisée chez l'adulte : au lieu de déboucher séparément et successivement dans le canal collecteur, les trois canalicules convergent vers le même point et constituent une sorte de pinceau dont le canal de Wolff serait le manche.

Les travaux qui suivent sont dévolus à la spermatogenèse. Obligé d'établir le nombre des chromosomes chez l'homme, afin d'apprécier la valeur de certaines mitoses dans des tissus pathologiques (cancer), j'ai été forcé d'aborder la spermatogenèse humaine où je me suis immédiatement rendu compte que mes observations différaient totalement de celles de mes devanciers.

L'étude de la cellule de Sertoli, de ses nombreuses enclaves et de son cristalloïde toujours unique, m'a amené à considérer comme cellule souche à la fois de la lignée séminale et sertolienne, un élément volumineux pourvu d'un petit cristalloïde. A la division, ce cristalloïde passe toujours dans une seule des cellules-filles ; cette dernière évoluera vers l'élément de soutien. Dans la suite, en analysant des testicules en préspermatogenèse (*C. R. Ass. Anat.*, 1923), j'ai reconnu que les cellules qui composent le tube séminifère, subissent une première différenciation, par apparition d'un cristalloïde, en cellules-souches des deux lignées, séminale et sertolienne. Je me rallie donc à l'origine uniciste des cellules épithéliales qui composent le tube séminifère et ne pense pas qu'après « déshabitation » du tube, les éléments restants soient tous des cellules de Sertoli. Selon moi, il s'agit de cellules dédiférenciées.

Quant à l'analyse des différentes mitoses de l'épithélium séminal, j'ai pu me rendre compte que le chiffre de 24 chromosomes adopté géné-

ralement, est de beaucoup inférieur à la réalité. Les gonies m'ont donné le chiffre de 47 chromosomes ; ce qui signifie qu'il y a 46 allosomes, rangés par couples de longueur croissante et un hétérochromosome (X). Le cyte I possède 24 chromosomes dont 23 bivalents ; la division I est inégale en ce sens que les deux cytes II reçoivent l'un 23, l'autre 24 (23+X) chromosomes. Il y a donc chez l'homme, comme chez beaucoup d'espèces animales (et probablement chez toutes) un dimorphisme sexuel. L'hétérochromosome a été poursuivi pendant l'accroissement et les stades de l'accroissement soumis à une nouvelle analyse, confirment mes premières conclusions quant à la réalité d'une conjugaison parallèle des chromosomes. Dans l'ovaire, je compte 48 chromosomes.

Des faits tout aussi importants ont été obtenus chez le Chat (*Bull. Acad. Roy. Belg.*, 1915 ; *Arch. Biol.*, **30**, 1919).

Ces données furent combattues notamment par Painter, Evans et d'autres, qui prétendent que les deux sexes seraient pourvus de 48 chromosomes (l'homme 46 + XY, la femme 46 + XX). De nouvelles recherches, entreprises avec K. Oguma (*C. R. Ass. Anat.*, 1925 ; *Arch. Biol.*, **36**, 1926), nous ont permis non seulement de confirmer tous les résultats antérieurs, mais d'approfondir l'histoire de l'hétérochromosome et d'expliquer certaines figures pouvant donner l'illusion d'un élément Y, toujours plus petit que son partenaire. Mon élève, G. Mols, sur un matériel beaucoup plus favorable, le Cobaye (*Arch. de Biol.*, 1928), a relevé d'intéressantes particularités dans le comportement et l'évolution de l'hétérochromosome, particularités qui ne s'expliquent guère si on accepte les idées actuelles sur la mitose. Lors de la première mitose de maturation, par exemple, l'hétérochromosome est clivé et inséré par une de ses extrémités au fuseau, de telle manière que chaque moitié se recourbe légèrement dans le sens des tractions opposées des fibres du fuseau. C'est là du moins l'impression que donnent les images ; or, l'hétérochromosome ne se divise pas à ce moment. Il passe tout entier à l'un des pôles et ce suivant un mouvement qui est inconciliable avec ce que l'on connaît en mécanique dans le cas où les forces actives lors d'une mitose consisteraient en tractions par l'intermédiaire des fibres. En réalité, les images ne peuvent s'expliquer en tous leurs détails par aucune explication mécanique ou physique ; toutes sont incapables de rendre compte des images observées. Si l'on peut admettre que l'on connaît bien actuellement la morphologie de la division, le mécanisme réel est encore presque entièrement à découvrir.

D'autre part, Mols a démontré que la valeur des mitoses est très différente suivant les tissus. L'amnios notamment qui constitue un matériel de choix pour certains histologistes, est complètement à rejeter : les mitoses y subissent des diminutions de chromosomes d'autant plus importantes que le fœtus est plus âgé et plus proche du terme. Ainsi s'expliquent les désaccords énormes que l'on relève dans la littérature et la difficulté qu'éprouvent tant de cytologistes à admettre un nombre supérieur à 24.

La formule chromosomiale peut différer suivant les races d'une même

espèce : c'est le cas pour la Courtillière dont j'ai élucidé la formule dans les races de Naples, de Belgique et de Provence (*Arch. de Biologie*, 1927) ; l'étude de la mitose en général m'a fourni l'occasion de préciser certains faits encore controversés, notamment en ce qui concerne les hétérochromosomes, la reconstitution nucléaire, la période d'accroissement, etc.

Sur ce même matériel, j'ai essayé d'analyser les phénomènes intimes de la parasyndèse (*C. R. Ass. An.*, 1926). Pendant la conjugaison parallèle des chromosomes, la structure de ceux-ci est granuleuse et discontinue. Il arrive un moment où la dualité primitive disparaît complètement ; les constituants de chaque chromosome s'intercalent, se placent en file unique et secondairement une nouvelle redistribution en deux files parallèles s'établit. On conçoit qu'après un pareil remaniement, les deux chromosomes qui en dérivent, ne soient plus identiques à ceux qui se sont accolés précédemment. Ce phénomène ne s'oppose nullement à toutes les combinaisons possibles de répartition des chromosomes paternels et maternels aux deux pôles.

L'étude des testicules d'Oiseau, à spermatogénèse cyclique, a permis à F. Orban (*C. R. Ass. Anat.*, 1923 ; *id.*, 1925 ; *id.* 1926 ; *Arc. Biol*, **39**, 1928) de découvrir les preuves morphologiques d'une sécrétion de l'épithélium séminal. La sécrétion interne des glandes génitales n'est plus mise en doute par personne. Mais, fait a priori assez surprenant, cette sécrétion est rattachée par certains aux cellules interstitielles et non pas au parenchyme proprement dit de l'organe. Or, dans toutes les autres glandes à sécrétion interne, c'est toujours au parenchyme, à la partie épithéliale que ce rôle est dévolu. Il aurait été étonnant que le testicule échappât à cette règle. Orban décrit l'apparition de vacuoles, de flaques colorées par la safranine ou l'hématoxyline ferrique avant le début de la spermatogenèse, au printemps, mais au moment où les signes d'activité sexuelle commencent à se montrer. Le contenu de ces flaques est élaboré dans les cellules séminales par l'appareil mitochondrial et plus tard repris par les cellules interstitielles et cédé aux vaisseaux. De même le tissu interstitiel intervient pour enlever, drainer les matières accumulées pendant la période de repos hibernal dans les tubes séminifères et se composant de lipoïdes variés. Plus tard encore, après la spermatogénèse, une dégénérescence graisseuse massive atteint l'épithélium séminal et ses débris sont également drainés et évacués par le tissu interstitiel. Dans l'intervalle, c'est-à-dire pendant l'apogée de la spermatogénèse, l'épithélium est beaucoup moins vulnérable et les cellules interstitielles régressent au point d'être presque absentes. Les diverses étapes de ces phénomènes, dans un matériel abondant et sérié tel que celui de Orban, sont tellement évidentes et démonstratives qu'elles ne permettent qu'une conclusion, celle qui vient d'être développée. Il existe une interaction étroite entre cellules séminales et cellules interstitielles. Celles-ci protègent les premières pendant la période de repos où l'on sait qu'elles sont particulièrement sensibles, en filtrant ou en arrêtant les substances apportées par le milieu interne aux tubes séminifères. D'autre part, le tissu interstitiel est la

grande voie d'élimination pour tout ce qui n'est pas évacué par l'appareil excréteur du tube séminifère, c'est-à-dire pour tout ce qui n'est pas spermatozoïde, produit de sécrétion externe.

On a reproché à Orban de ne pas avoir eu recours à l'expérimentation. Le but immédiat et essentiel de ses recherches était de suivre les phénomènes morphologiques, ce qui, d'ailleurs, lui a seul permis de découvrir l'existence de cette sécrétion interne et de mettre de l'ordre dans des images encore inconnues. Ce n'est qu'après avoir procédé à cette analyse que l'expérimentation sera possible parce qu'on pourra comparer des images connues dont la succession a été établie au préalable. C'est précisément parce que l'on méconnaît l'ordre logique de recherches de ce genre, morphologiques d'abord, expérimentales ensuite, que l'on publie aujourd'hui tant de travaux hâtifs et que l'on apporte tant de résultats contradictoires et erronés, qu'il faut ensuite péniblement déblayer.

C'est une considération du même genre qui m'a fait entreprendre l'étude de l'ovaire de Souris jusqu'à la puberté (*C. R. Ass. Anat.*, 1929). Son évolution est un peu spéciale à première vue, en raison de la gestation très courte et de la précocité de la puberté chez cet animal. WATRIN et ORBAN (*C. R. S. B.*, 1928 ; *Arch. Biol.*, 1928) ont démontré que les injections d'urine de femme gravide provoquent chez la Souris impubère l'apparition non pas de corps jaunes vrais, mais d'atrésies particulières accompagnées d'hémorragies. Or, ces figures s'observent de temps à autre spontanément chez le jeune animal, en l'absence de toute injection. Il ne peut donc s'agir d'un effet comparable à celui de l'extrait d'hypophyse auquel la plupart des auteurs ramènent les résultats provoqués. Si l'action de l'urine de femme gravide est un fait réel, son interprétation ne doit être acceptée qu'avec prudence, et ne peut être définitive dans l'état actuel de la question.

D'autre part, LAURENT (*C. R. S. B.*, 1930) démontre que l'analyse microscopique est indispensable pour évaluer la réalité de certains tests physiologiques comme le volume, le contenu, le poids des vésicules séminales. Les résultats considérés par certains comme probants (Brouha et Simonnet), dépendent de tant de facteurs secondaires qu'en pratique ces données sont complètement illusoires. L'effet signalé de l'urine de femme gravide sur le tissu interstitiel du testicule impubère, par exemple, s'obtient également, et même plus accentué, par injection d'urine d'homme adulte. Il ne peut donc s'agir d'action spécifique ou sexuelle et actuellement toutes les tentatives d'explication ne doivent être acceptées qu'avec prudence.

Enfin, l'origine conjonctive du tissu interstitiel fut de nouveau mise en doute ; sur un matériel particulièrement favorable (l'ovaire de Chienne), je crois avoir définitivement résolu la question par l'affirmative (*Arch. Anat. Micr.*, 1929). Ici encore, comme en bien d'autres recherches, matériel et technique jouent un rôle capital, malheureusement trop souvent sous-estimé et négligé.

Chez l'homme, dans le canal déférent et, à un moindre degré dans

l'épididyme, l'épithélium est le siège d'une sécrétion nucléaire très curieuse (*C. R. S. Biol.*, 1924 ; *La Cellule*, 1925 ; *C. R. S. Biol.*, 1928). Le produit est évacué directement dans la cavité et non dans le corps cellulaire et se mélange par conséquent au contenu du canal. Il semble que cette sécrétion soit en rapport avec la nutrition des spermatozoïdes qui sont des cellules très évoluées, représentées surtout par un noyau. Les spermatozoïdes séjournent d'ailleurs longtemps dans les portions distales du canal déférent qui font l'office de véritables vésicules séminales.

---

(1) H. DE WINIWARTER, *Arch. Biol.*, **16** (1889); *id.*, **17** (1900); *Anat. Anz.*, **21** (1902); *Bull. Acad. roy. Sc.* (1908); *Anat. Anz.* (1908); *Arch. Biol.*, **25** (1910); *id.*, **26** (1911); *id.*, **27** (1912); *Anat. Anz.* (1912); *Bull. Acad. Sc.* (1914); *Arch. Biol.* (1919); *Rev Anthr.* (1920); *C. R. S. B.* (1920); *id.* (1920); *id.* (1920); *id.* (1921, 1922); *C. R. Soc Anat.* (1922); *Rev. Anthr.* (1923); *Arch. Biol.* (1923); *C. R. S. B.* (1923); *id.* (1923); *C. S. Ass. Anat.* (1923); *Rev. Hist.* (1923); *C. R. S. B.* (1924); *C. R. Soc. Anat.* (1924); *id.* (1925); *La Cellule* (1925); *Arch. Biol.* (1926); *C. R. S. B.* (1926); *id.* (1926); *id.* (1927); *C. R. Ass. An.* (1927); *Arch. Biol.* (1927); *C. R. S. B.* (1928); *id.* (1928); *C. R. Ass. An.* (1929) ; *Arch. An. Micr.* (1929) ; *Arch. Biol.* (1930).

(2) WINIWARTER ET SAINMONT, *Arch. Biol.*, **24** (1908-1909).

(3) A. BENOIT, *Arch. Biol.* (1928).

(4) J. BOVY, *Arch. Biol.* (1928).

(5) LAURENT, *C. R. S. B.* (1930); *id.* (1930).

(6) G. MOLS, *Arch. Biol.* (1928); *id.* (1930).

(7) F. ORBAN, *C. R. Ass. Anat.* (1923); *id.* (1925); *id.* (1926); *Arch. Biol.*, **39** (1928).

(8) ORBAN et WATRIN, *C. R. S. B.* (1928); *id.* (1928); *Arch. Biol.* (1928).

NOUVELLES OBSERVATIONS SUR L'ARCHITECTURE DES ABEILLES

par Victor WILLEM,
Professeur à l'Université de Gand.

La présente note comprend le résultat d'observations nouvelles que j'ai faites sur l'édification des alvéoles par l'Abeille ordinaire. Je donnerai à ma communication, autant que possible, l'allure d'une démonstration de documents expérimentaux, d'ailleurs souvent très difficiles à figurer : nous examinerons ensemble un certain nombre de gâteaux que j'ai obtenus dans des circonstances variées et vous verrez quelle valeur vous pouvez accorder aux conclusions que je tire de mes expériences.

J'ai dit, dans ma note précédente (1), qu'on pouvait, par l'emploi de gaufrages en cire dans lesquels étaient imprimés des fonds pyramidaux alignés en séries rectangulaires, amener les Abeilles à construire des cellules en forme de prismes à section carrée, basés sur des pyramides à quatre faces triangulaires et terminés par une ouverture octogonale.

I. — Depuis lors, j'ai utilisé des plaques métalliques minces, que je pouvais estamper plus facilement que des plaques en cire : au moyen d'un poinçon en fer, des creux hémisphériques, de cinq millimètres de diamètre, ont été frappés dans des lames d'étain, à des distances d'environ six millimètres, alignés soit en séries rectilignes alternantes, soit en lignes rectangulaires ; ces plaques ont ensuite été couvertes d'une couche de cire fondue, puis intercalées dans une hausse, entre des gaufrages ordinaires en cire.

Semblables plaques ne sont couvertes par les Abeilles qu'avec répugnance, et quand les amorces limitrophes sont déjà chargées. Mais on constate que les cupules, quelles que fussent leur répartition et leur distance, ont été acceptées comme assises d'autant d'alvéoles nouveaux ; sur le verso des plaques, ce sont les espaces, souvent irréguliers, compris entre les saillies hémisphériques correspondant aux cupules de l'autre face, qui constituent, après creusement de la couche de cire, les fonds de cellules édifiées. Et la forme première des prismes, hexagonaux ou carrés, dérive immédiatement de la répartition, en quinconce ou rectangulaire, des cupules contiguës (2).

(1) V. Willem, *L'architecture des Abeilles.* (*Bulletin de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique*, **14**, 672-705 [1929]).

(2) Mais dans la suite, avec l'élévation des murs, l'orientation des faces peut se modifier ; des pyramides-chevilles peuvent s'intercaler entre les prismes primitifs, de telle sorte que la projection du dessin superficiel des alvéoles, en nombre accru d'ailleurs, ne correspond plus au plan primitif.

Nous remarquons aussi que les fonds estampés dans le métal ont été partout nettoyés, à part une pellicule très mince, quelle que fût la forme de leur surface, qu'elle fût simple ou lisse, ou que la convexité du poinçon eût reçu soit un abattement plat, soit des entailles en étoiles. C'est un résultat qui plaide en faveur de l'idée que j'ai émise antérieurement : l'ouvrière qui opère par creusement l'approfondissement de l'alvéole, ne s'arrête que quand elle perçoit, par le fléchissement de la paroi, qu'elle va atteindre le champ d'opération d'une ouvrière antagoniste.

II. — Plus intéressants dans le même ordre d'idées sont les résultats d'expériences faites avec d'autres amorces plus anormales encore : un treillis en fil métallique (fer galvanisé) sur lequel on comprime une plaque de cire, de façon à l'incruster dans les mailles. Sur une face, les travées métalliques restent ainsi apparentes et les Abeilles n'utilisent ce substratum qu'avec répugnance : pressées par la nécessité de loger leurs récoltes, elles y édifient souvent de petits rayons perpendiculaires au plan proposé.

Sur la face qui leur offre au début une surface de cire presque continue et plus ou moins plane, elles se mettent à creuser des cupules qui atteignent rapidement le treillis, et dont l'approfondissement détermine l'orientation et la forme. On voit alors apparaître des groupes de cupules à fonds arrondis, limitées en carrés par les mailles du treillis. Et sur celles-ci s'élèvent alors quatre parois latérales, d'après le mode de celles qui s'édifient sur les contours hexagonaux imprimés dans les gaufrages ordinaires.

Sur un treillis à mailles de six millimètres, la suite de la construction donne bientôt naissance à des cellules à section carrée ; leur ouverture se trouve rétrécie, comme chez celles que j'avais autrefois obtenues sur d'autres substratums, par un bourrelet, d'abord circulaire, qui se transforme en contour octogonal, par la présence de petits creux pyramidaux quadrangulaires occupant les angles. Et, chose que j'ignorais en 1928, ces coins pyramidaux peuvent s'élever en même temps que les rebords alvéolaires : la cellule conserve en grandissant sa section quadrangulaire et les coins coupés de son rebord. Cependant, comme les dimensions imposées aux cellules par l'amorce initiale sont un peu excessives, on voit certaines pyramides persister et s'élargir en s'élevant concurremment avec les alvéoles primitifs : ces pyramides-chevilles peuvent acquérir les dimensions de réceptacles à miel [3].

---

[3] Et cette correction des dimensions des cellules par addition ou suppression, s'accompagne d'une autre modification des ajustements : il y a tendance, à la suite d'incurvations des faces latérales, à retrouver un engrènement des orifices alvéolaires en quinconce et la forme hexagonale de ces orifices.

Une *première* constatation résulte de toutes ces expériences, aussi bien que de l'observation de la manière dont s'édifie un gâteau normal : c'est que chaque cellule débute par le creusement d'une cupule, dans la masse abordée. Cette cupule devient, quand la masse est homogène, un creux hémisphérique, dont les rebords s'exhaussent par addition de matériaux, et qui prend un instant, en raison de l'épaississement en bourrelet de l'orifice, une forme ellipsoïdale. Ce mode d'édification est d'autant plus significatif qu'il observe même au détriment des gaufrages industriels en cire, où l'on offre aux ouvrières des fonds d'alvéoles pyramidaux, aussi parfaits de forme que ceux qu'elles pourront obtenir.

Cet ensemble de manœuvres initiales, si général et si caractéristique, est exactement celui de la construction d'une cellule en cire isolée, par un Apien primitif ; il est curieux d'en retrouver le rappel exact dans l'architecture si compliquée de notre Abeille.

En second lieu, il résulte de mes diverses expériences que la disposition et la forme des cellules accolées dans un gâteau, dérivent de leur arrangement initial et que celui-ci peut être déterminé expérimentalement, à volonté, par des amorces très diverses, en forme de creux (4).

Or, chez nos Abeilles, dans les circonstances normales, les cupules hémisphériques se creusent sur les deux faces d'une plaque homogène mince, qui grandit au fur et à mesure de l'accroissement du nombre des cellules ; elles se joignent sur chaque face en quinconce, et celles d'une face alternent de même avec celles de l'autre. Cette combinaison de propriétés trouve, à mon sens, une explication rationnelle dans deux acquisitions du comportement de l'Abeille ; d'une part, le développement d'une tendance, née dans la série phylogénique, à accoler et à serrer les alvéoles les uns contre les autres, au profit de la solidité de l'ensemble et de l'économie des matériaux ; d'autre part, la formation verticale de la plaque de base, de même que la disposition des cupules sur deux faces, peuvent être le résultat immédiat de la collaboration, dès le commencement de la construction, d'une foule d'ouvrières agrippées à un substratum, en masse pendante : la forme caractéristique des rayons de l'Abeille serait ainsi corrélative d'une construction en commun et de l'existence, dans son cycle biologique, de l'essaimage en masse.

Or, cette disposition propre aux cellules de l'Abeille suffit, avec un élément de mesure, pour expliquer tout le système de leur architecture. Que les cupules initiales qui sont accolées étroitement sur une face soient de diamètres ordinairement égaux, cela n'exige pas de l'ouvrière un sens musculaire plus extraordinaire que toute manœuvre d'un organe, telle la marche ; mais il résultera de ce fait une disposition régulière et la similitude des cellules engrénées. Il suffit que les ouvrières raclent ensuite et creusent les parois dans leurs régions plus épaisses, — aspect de la ten-

(4) Je n'ai pas signalé encore qu'on peut obtenir des alvéoles verticaux, dont les orifices sont tournés vers le haut ou même vers le bas ; ces derniers recevant d'ailleurs du miel qui y reste par capillarité.

dance héréditaire à creuser au maximum de la masse de cire,— pour que les parois en lentilles biconcaves tendent vers la forme plane et que les cellules ellipsoïdales, puis cylindriques, égales, deviennent des prismes hexagonaux réguliers. Et d'autre part, les fonds, accolés de façon alterne parce que les ouvrières ont modelé en cupules les espaces compris entre les saillies des fonds de l'autre face, tendront à devenir des pyramides de Maraldi. Ce que l'on a admiré comme une merveille incompréhensible, n'est que la manifestation inéluctable des propriétés géométriques de l'hexagone régulier et du rhombododécaèdre.

Je montrerai plus tard que la précision de l'achèvement a été fort exagérée : les angles dièdres n'ont que très rarement la régularité postulée et l'égalité des arêtes de l'hexagone est souvent illusoire ; les faces qu'on affirme planes, apparaissent à la loupe singulièrement raboteuses et gondolées.

COMPARAISON DES ARCHITECTURES DES ABEILLES ET DES GUÊPES

par L. VERLAINE

Professeur à l'Université de Liége

Les gâteaux des Guêpes ne sont bâtis que sur une seule surface. Les loges n'ont pas le fond constitué de trois facettes en forme de losange ; leur construction est donc moins compliquée, mais elles sont aussi parfaitement hexagonales que les cellules des rayons d'Abeilles, et disposées en gâteaux d'une régularité presque toujours impeccable.

La méthode de construction des Guêpes n'est pas comparable à celle des Abeilles, et cela tient avant tout à la nature de la matière employée.

La cire peut être à chaque instant remaniée et une légère erreur de construction peut être aisément réparée : le fond des cellules bâties sur une seule face d'une plaque de cire gaufrée est d'abord hémisphérique ; il ne prend sa forme caractéristique qu'au moment où les loges de l'autre face sont amorcées. La pâte à papier utilisée par les Guêpes perd, au contraire, toute malléabilité peu de temps après son emploi.

Les Guêpes ne commencent donc pas par construire une lame de carton dans laquelle elles devraient creuser ultérieurement un certain nombre de fossettes destinées à se transformer simultanément en loges prismatiques. Chaque loge est ébauchée par elles isolément, et chaque ébauche doit être d'emblée aussi parfaite que possible ; la moindre erreur peut rompre l'équilibre de l'édifice total.

Le premier alvéole d'un guêpier, bâti par la reine, est pourtant cylindrique. Cet alvéole n'est guère encore plus gros qu'une petite cupule qu'il est déjà pourvu d'un œuf et qu'à côté de lui s'en trouve amorcé un second en forme d'un nid d'Hirondelle. Avant d'avoir atteint le quart de sa grandeur, la première cellule est rattrapée par la seconde. La reine alors, au lieu de conserver à la cloison mitoyenne sa courbure primitive, l'aplanit en l'élevant et les deux loges offrent désormais, près de leur orifice, en section transversale, la disposition de deux bulles de savon accolées. La rectification de la cloison mitoyenne, au lieu de résulter d'une traction exercée par les parois libres des deux cellules, est la conséquence de l'adoption par la reine d'un nouveau procédé de construction.

Immédiatement, dans les angles formés par les deux premières loges, la troisième et la quatrième cellules apparaissent et ne tardent pas elles-mêmes à rattraper les autres. Les quatre nouvelles cloisons mitoyennes sont aussitôt aplanies. Ces quatre cellules constituent le centre du gâteau.

Leur bord libre est en arc de cercle ; la forme prismatique n'est acquise encore que là où les cellules sont accolées les unes aux autres. La surélévation des cloisons en facettes planes se produit parfois chez les Abeilles auxquelles on fournit un canevas de cire ou d'aluminium, sans toutefois que les Abeilles renoncent à leur méthode de modelage et de refoulement de la cire si bien décrit par V. Willem.

Comme chez les Abeilles, un alvéole quelconque prend la forme hexagonale parce qu'il est entouré de six autres cellules. Il présente cinq ou sept facettes lorsqu'il est encerclé de cinq ou de sept loges, mais alors, l'équilibre rompu momentanément, ne tarde pas à être rétabli.

Il ne suffit cependant pas de dire qu'une cellule devient hexagonale parce qu'elle est entourée de six autres cellules et de constater que le système hexagonal assure l'utilisation du plus grand volume en réduisant au minimum la surface des constructions établies, pour expliquer pourquoi ou comment la reine ou toute ouvrière qui accole une nouvelle loge à une autre ou à d'autres, donne exactement à la cloison mitoyenne l'étendue d'un sixième de la surface totale du cylindre et répare ultérieurement ses erreurs lorsqu'elle en a commis. Un problème subsiste ici qui me paraît mériter une étude spéciale.

D'autre part, seule la première loge de chaque gâteau doit contenir six facettes. Pour la seconde, il ne doit en être envisagé que cinq et à partir de la troisième, les guêpes ne doivent jamais plus en bâtir que quatre ou trois et, parfois même, deux seulement. Au début, (et pendant toute l'évolution du guêpier chez les *Vespa media*) chaque nouvelle loge est édifiée en nid d'Hirondelle, en bordure du gâteau, et le bord libre en arc de cercle n'est brisé en facettes qu'au moment de l'accolement à une autre cellule plus récemment bâtie.

Mais chez toutes les autres espèces que j'ai pu étudier, un nouveau procédé est adopté, plus ou moins vite, suivant les espèces et suivant les lignées dans chaque espèce, qui consiste à construire directement, sur le type hexagonal, les quatre, trois, ou deux cloisons nécessaires suivant les circonstances, pour ajouter une nouvelle loge à l'édifice déjà bâti. Bien plus, après un certain temps, au lieu de jeter les bases d'un nid d'Hirondelle et d'en rehausser les bords progressivement par tranches transversales, les Guêpes modifient encore leur manière de faire. On les voit tracer avec une précision étonnante, sur la surface libre des cellules bâties en dernier lieu en bordure du gâteau, des crêtes amorçant sur toute leur longueur des paires de cloisons. Ces cloisons sont planes d'emblée et orientées comme il convient, parallèles lorsqu'il en reste quatre à construire, convergentes lorsqu'il n'en reste plus que trois ou deux. Les loges sont donc alors édifiées par tranches longitudinales. Ce nouveau procédé peut apparaître très tôt. J'ai vu un nid de *Vespa sylvestris* au stade de quatre loges, dont la quatrième n'était encore formée que de trois crêtes, deux cloisons longitudinales, et une perpendiculaire à elles devant fournir le fond de la loge.

Exceptionnellement et notamment quand on leur donne des plaques

d'aluminum offrant le dessin du fond des loges en relief, les Abeilles peuvent également bâtir les cellules par paires de cloisons.

La Guêpe cartonnière *Chartergus chartarinus*, qui édifie ses loges sur une épaisse lame de carton, bâtit d'abord, elle aussi, sur le type cylindrique, mais après un certain temps, elle parvient à dessiner sur une surface plus ou moins vaste un véritable canevas assez régulier d'ébauches hexagonales qui donnent à l'ensemble de la construction les apparences d'une plaque de cire gaufrée.

Les Guêpes apprennent donc à bâtir directement des loges hexagonales. L'apprentissage est absolument incontestable ; mais réclame-t-il des qualités psychiques supérieures?

Pas le moins du monde. Janet avait remarqué la position prise par la Guêpe qui élève une cloison d'une loge déjà entourée de toutes parts par d'autres cellules. Cette position, toujours la même, est telle qu'elle fournit à la bête tout un complexe de perceptions tactiles enregistrées par les pattes des deux dernières paires, posées sur deux cloisons parallèles, entre lesquelles se trouvent, à égale distance et parallèlement, en avant, la cloison à laquelle l'animal travaille en s'aidant des antennes, des mandibules et des pattes antérieures, en arrière, une cloison que recouvre la ligne médiane, ventrale, de l'abdomen. Or, ce complexe finit par s'enregistrer dans la mémoire et, ultérieurement, lorsqu'une guêpe s'installe sur les gâteaux pour rehausser le bord libre, en arc de cercle, d'une loge récemment amorcée, au lieu de suivre la courbure du canevas, elle se laisse aller à des sollicitations connues et étale une tranche rectiligne, dont la longueur et l'orientation sont très simplement imposées par l'habitude prise à surélever les cloisons des cellules du centre du gâteau.

Cela est si vrai que lorsqu'une Guêpe commence à briser le bord en arc de cercle d'une loge qui ne devra comporter que quatre facettes nouvelles, elle ne peut se placer sur le gâteau de manière à être irritée par le complexe de perceptions tactiles précité que pour surélever les deux facettes parallèles fixées à l'édifice; ces deux facettes sont traitées par la nouvelle méthode tandis que les deux autres restent contenues dans un arc de cercle jusqu'à ce que de nouvelles constructions permettent à la bête de trouver le guide sensoriel indispensable.

Après un certain temps, cependant, les perceptions tactiles d'un côté du corps seulement paraissent suffire, car les quatre cloisons d'une telle loge peuvent être établies simultanément.

Il s'agit donc simplement d'un souvenir d'attitudes acquises tout naturellement, sans calcul, par la force des choses, et qui, au moment où il engendre les opérations les plus parfaites, correspond à des processus d'automatisation plutôt qu'à des processus d'associations actuelles quelque peu compliquées.

L'*Instinct* de construire des cellules hexagonales qui paraît revêtir chez les Guêpes une forme intellectuelle, bien davantage encore que chez les Abeilles, se réduit donc à un apprentissage fort simple, mais à un apprentissage tout de même, et, dans ce cas particulièrement intéressant encore,

l'étude expérimentale de l'histoire du phénomène vide de tous sens l'entité verbale qu'est l'instinct.

Il reste des appétits, des souvenirs de perceptions sensorielles acquis dès la naissance et peut-être d'origine larvaire, des pouvoirs d'association élémentaires.

De nouvelles recherches devraient cependant être entreprises sur le déterminisme des premiers gestes relatifs à la construction et à la recherche des matériaux.

LES OISEAUX BRISEURS DE COQUILLES D'HÉLIX

par L. VERLAINE
Professeur à l'Université de Liége

Au cours de l'Assemblée mensuelle du 21 mars 1929 de la *Société royale zoologique de Belgique*, M. V. Willem, Président, a proposé aux membres présents de chercher à établir l'identité des oiseaux qui se servent d'une pierre ou d'un corps dur quelconque, comme d'une enclume, pour briser les coquilles d'Hélix, dans les dunes du littoral belge et français, et de tâcher d'observer comment ils procèdent pour extraire l'animal de sa coque.

La question, mise à l'ordre du jour des séances ultérieures, a donné lieu à des échanges de vue des plus intéressants. Les observations de MM. K. Loppens, dans les dunes de Nieuport et V. Willem dans les environs de Wimereux, nous ont appris qu'en ces endroits, les merles doivent être classés avec certitude parmi les oiseaux qui se conduisent de si curieuse façon. Peut-être même, sur le littoral, sont-ils les seuls auteurs de ces festins dont les reliefs se rencontrent assez fréquemment.

Toutefois, il est possible que d'autre Oiseaux se comportent de la même manière. M. C. Dupond a bien voulu me procurer le compte rendu d'une étude de MM. D. HAVILAND et Fr. PITT (1) qui attribuent aux Grives l'habitude de briser les coquilles d'Escargots.

D'autre part, M. P. Pelseneer a eu l'heureuse idée de communiquer à la Société zoologique une liste, dressée par lui, des oiseaux qui se nourrissent de ces Mollusques.

La deuxième question posée par M. V. Willem est restée sans réponse. J'ai cru intéressant de lui chercher une solution ; mais j'ai voulu surtout tenter d'établir si les Merles et les Grives, ou d'autres Oiseaux, sachant briser les coquilles d'Hélix *par instinct* ou bien, s'ils doivent au contraire, *apprendre* leur étonnante industrie à la faveur d'associations de perceptions sensorielles actuelles et de souvenirs.

J'ai donc recueilli au printemps de l'année passée des nids de Merles et de Grives et j'en ai élevé les jeunes en cage ; j'ai pu également me pro-

(1) *Annals and Mag. Nat. Hist.* (June 1919). — Compte rendu dans *British Birds*, **13**, 6, 168 (nov. 1919).

curer deux Sansonnets pris au nid l'année précédente. Mes sujets ont été mis en présence des premières coquilles au début du mois d'octobre.

Les Merles et les Grives étaient alors âgés de cinq mois environ, les Sansonnets de seize à dix-sept mois. Pendant un mois, je les ai questionnés quinze fois à des intervalles de deux jours.

Voici les résultats de mes observations :

L'Escargot rétracté dans sa coquille laisse les Oiseaux des trois espèces indifférents. Les Sansonnets ne s'intéressent pas davantage au mollusque lui-même ; mes expériences à leur sujet ont complètement échoué.

Dès que l'animal sort de sa coquille et se met à ramper, il attire l'attention des Merles et des Grives qui s'approchent de lui, l'observent longuement en tournant tout autour et se décident plus ou moins vite suivant les individus, à le saisir par la région antérieure du corps, quelquefois par un tentacule. L'Escargot se rétracte et l'Oiseau se débarrasse du mucus qui adhère à son bec en frottant celui-ci sur la terre ou sur un objet quelconque : montant de la cage, mangeoire, abreuvoir, perche.

Cette première expérience est généralement suivie de quelques autres identiques, mais elle peut suffire à apprendre à l'Oiseau que la coquille contient une proie ; car, quand il retrouve la coquille, il s'en approche, tourne autour d'elle, en cherche l'ouverture, introduit délicatement son bec à l'intérieur et saisit l'animal qui se rétracte profondément. La manœuvre se reproduit plusieurs fois ; mais quand la bête se trouve parfaitement tenue entre les mandibules, l'oiseau se promène avec sa capture dans la cage, vole d'une perche à l'autre et tente en vain d'extraire la proie de la coque en se frottant énergiquement le bec contre la plupart des objets qu'il rencontre; ou bien, il abaisse et redresse aussitôt violemment et plusieurs fois de suite toute la partie antérieure du corps de manière à détacher sa victime de la coquille et à projeter celle-ci au loin. Mais le Mollusque résiste. Il est alors abandonné et repris et traité de la même manière. La coquille est également prise toute entière dans le bec et passée alternativement de gauche à droite, tandis que les mandibules cherchent fébrilement à l'écraser. Elle est aussi parfois saisie par le péristome et il lui arrive alors d'être fêlée ou ébréchée. Les Merles ne sont parvenus qu'à briser, tout d'abord par hasard, le péristome, puis à l'échancrer à coups de bec, volontairement, et à extirper l'escargot par fragments, à l'exclusion du tortillon.

Au cours de ces diverses manipulations et surtout à l'occasion des mouvements brusques d'abaissement et de redressement du corps qui viennent d'être décrits, il arrive fortuitement aux Grives de frapper la coquille contre un corps dur et de la briser partiellement. Il leur suffit alors d'apercevoir l'animal par l'ouverture résultant de la chute d'une petite esquille pour aborder aussitôt la proie par cet endroit et l'extraire tout entière après élargissement de l'orifice de la cassure à coups de bec et destruction, par l'intérieur, des spires de la coquille qui contiennent le tortillon. Mais l'expérience acquise ne tarde pas à être mise à profit. Dès ce moment, mes sujets s'emparent directement de l'Hélix par le péristome

et le cognent violemment plusieurs fois de suite contre les parois en bois de la cage, le rebord du bac en zinc qui lui sert de fond, la perche, l'abreuvoir ou la mangeoire en terre cuite.

Puis, il discriminent incontestablement le degré d'efficacité de ces divers objets pris comme enclume et s'adressent généralement sans hésiter, aux objets les plus durs, aux récipients en terre cuite.

Dans ce cas, c'est toujours mécaniquement la plus grosse spire qui est d'abord largement entamée de l'extérieur, tandis que les spires les plus faibles sont démolies de l'intérieur à coups de bec.

Enfin, une de mes Grives n'a cherché à briser la coquille contre un corps dur qu'après avoir tenté vainement d'y pratiquer directement un trou dans les tours de spire les plus faibles du sommet, en se servant exclusivement du bec. Elle a donc appris à extraire de leur coquille des Escargots qui s'étaient retranchés derrière un diaphragme, sans léser celui-ci, ni le péristome, ni la spire la plus forte.

Le procédé utilisé par les Oiseaux pour briser les coquilles d'Hélix et en extraire le contenu ne relève donc nullement d'un instinct, mais d'un apprentissage fort simple, de processus mentaux d'association. Les diverses espèces sont, à cet égard, douées de façon très inégale et les individus d'une même espèce peuvent présenter de grandes différences dans leur manière de faire et la rapidité de l'apprentissage.

Mes Grives se sont comportées en cages comme les individus libres des dunes si l'on en juge d'après les coquilles brisées recueillies par M. V. Willem à Wimereux, et par celles que j'ai récoltées au Coq, sur notre littoral. Je trouve dans les notes, que M. V. Willem, a bien voulu me communiquer, que des coquilles lui ont paru avoir été brisées sur « une petite touffe serrée *de Corynenophorus*, graminée de la région où il a fait ses observations. J'ai découvert moi-même de nombreux assemblages de coquilles au Coq sur l'herbe courte et drue. Mais, parmi ces coquilles, un grand nombre avaient été brisées à coups de bec par le procédé employé par la Grive dont j'ai parlé en dernier lieu. Certaines d'entre elles possédaient un diaphragme intact. Je pense aussi avec M. V. Willem qu'une même pierre isolée dans la dune, au voisinage d'une route ou d'une habitation peut servir d'enclume à plusieurs Oiseaux et que le nombre des coquilles brisées qui l'entourent peut s'accroître d'année en année.

Une question reste à envisager.

Les Hélix à bandes ou sans bandes sont-ils mieux ou moins bien protégés les uns que les autres par leur coloration, dans leur habitat et, par suite, les Oiseaux qui s'en nourrissent contribuent-ils à les sélectionner?

MM. D. Haviland et Fr. Pitt critiquent l'opinion déjà émise par A.-E. Trueman sur le rôle protecteur des bandes de la coquille, et croient que la capture des Escargots à bandes ou sans bandes est due au hasard. Ils sont en outre d'avis que les Grives doivent apprendre à briser les coquilles. Mes expériences leur ont donné raison sur le second point. En ce qui concerne le premier point, M. V. Willem avait constaté que les *Hélix nemoralis* et *H. aspersa* d'Ambleteuse, près de Wimereux, étaient seuls attaqués,

à l'exclusion des *Hélix ericetorum*. Sachant que Giard croyait que les *Hélix nemoralis* sans bandes étaient doués d'une ressemblance protectrice, il a eu l'heureuse idée de comparer les coquilles brisées trouvées autour des enclumes dans les dunes avec celles des Hélix intacts rencontrées dans les environs de ces enclumes, mais il n'a pu tirer de son étude d'autre conclusion que celle-ci : la coloration des coquilles joue peut-être un rôle protecteur, mais le phénomène est complexe et peut varier du tout au tout, d'un jour à l'autre, avec les déplacements du Mollusque.

Il serait hautement désirable que de nouvelles recherches fussent entreprises sur les Oiseaux dont M. P. Pelseneer a dressé la liste et, en particulier sur les Merles qui ne m'ont sans doute pas donné satisfaction parce que je ne les ai pas questionnés assez longtemps, ma provision d'Hélix étant insuffisante.

LA CLASSIFICATION DES INSECTES

par Aug. LAMEERE

Professeur à l'Université de Bruxelles

Nous commençons aujourd'hui à entrevoir la classification qui doit symboliser l'évolution générale des Insectes. Cela grâce à la série de recherches sur la nervation des ailes, inaugurée par Comstock et Needham, par l'application des résultats acquis dans ce domaine à l'étude des Insectes fossiles et par la découverte même d'Insectes fossiles du plus haut intérêt, fossiles décrits principalement par Tillyard.

L'on trouvera tous les renseignements bibliographiques relatifs à ces questions dans mon *Année zoologique 1927*, parue dans le *Recueil de l'Institut zoologique Torley-Rousseau*, t. I (1928).

En 1922, j'ai fait remarquer (*Bull. Acad. Belg.*, 138) que la conception admise par Comstock dans son ouvrage, *The Wings of Insects*, devait subir une importante correction ; l'étude des Insectes du Stéphanien de Commentry conservés au Muséum de Paris m'avait, en effet, démontré que la nervure désignée comme *médiane* par Comstock n'était que la branche postérieure d'une nervure constituée, comme la cubitale, d'une branche antérieure haute ou convexe et d'une branche postérieure basse ou concave, qu'il fallait envisager une médiane antérieure et une médiane postérieure, la médiane antérieure n'étant représentée parmi les Insectes actuels que chez les Ephémères et les Odonates, les deux étant au contraire présentes chez les Insectes fossiles du Primaire que Handlirsch a réunis sous la dénomination de Paléodictyoptères. Cette manière de voir a été admise par Tillyard et par les auteurs subséquents.

J'ai cru pouvoir établir aussi que l'on avait eu tort d'abandonner complètement la vieille théorie d'Adolph admettant une alternance régulière de nervures convexes et concaves mais basée sur des données premières erronées. Dans l'aile d'un Spilaptéroïde tel que *Lamproptilia Grand'Euryi* Ch. Brongn., à la costale haute succède la sous-costale basse ; la radiale haute a son secteur bas ; la médiane offre une branche haute suivie d'une branche basse, la cubitale aussi, puis viennent trois anales, chacune ayant une branche haute et une branche basse. Tout est comme s'il y avait sept nervures formées les unes comme les autres d'une branche haute et d'une branche ou secteur bas. J'ai pensé que nous avions là la disposition primitive de la nervation de l'aile de l'Insecte, et je crois ne pas m'être trompé, car nous retrouvons dans cette architecture celle de l'aile de l'Oiseau

où des nervures convexes représentées par le rachis des rémiges alternent régulièrement avec des vallées dont les versants sont constitués par les deux rangées de barbes appartenant aux rémiges couplées.

D'autre part, P. Vignon vient de publier en 1929 (*Archives du Muséum de Paris,* IV) une *Introduction à de nouvelles recherches de morphologie comparée sur l'aile des Insectes.* L'auteur considère comme primitive une disposition qui n'existe que chez un Insecte de Commentry, *Lycocercus Goldenbergi* Ch. Brongn., que j'ai démontré être un Protohémiptère, qui n'est donc pas un Insecte archaïque. Là, la médiane et la cubitale offrent une branche postérieure basse et une branche antérieure se bifurquant en un rameau antérieur haut et un rameau postérieur bas. Vignon voit dans les branches postérieures basses des deux nervures les véritables médiane et cubitale postérieures (MP et CuP) et dans les branches antérieures la médiane et la cubitale antérieures (MA et CuA) avec un rameau antérieur haut (MA^1, CuA^1) et un rameau postérieur bas (MA^2, CuA^2). Tous les autres Protohémiptères, les Ephéméroptères et les Odonatoptères ont perdu CuP, MA étant présent ; CuP persisterait encore avec MA^1, chez les Hyménoptères et les Coléoptères, et aussi, mais sans MA^1, chez les Orthoptères et les Hémiptères ; les Névroptères et les Lépidoptères n'ont plus ni CuP ni MA^1 ; quant aux Diptères, il y en aurait possédant encore une trace de CuP, mais tous auraient conservé MA^1, ce qui éloigne complètement cet ordre des Panorpoïdes de Tillyard pour le rapprocher des Ephémères et des Libellules.

Les résultats paradoxaux et en partie contraires aux résultats de la Paléontologie, auxquels conduisent les conceptions de Vignon, doivent nous les faire envisager avec beaucoup de circonspection. Le point de départ me paraît très sujet à caution ; la disposition que présentent à la fois la médiane et la cubitale chez le seul Protohémiptère spécialisé *Lycocercus Goldenbergi,* ne provient-elle pas simplement d'un de ces accolements de nervures si fréquents, surtout dans les ailes rétrécies, et les rameaux MA^2 et CuA^2 de Vignon ne seraient-ils pas tout simplement les rameaux antérieurs de MP et de CuP auxquels les branches MA et CuA seraient anastomosées sur une certaine étendue ? Nous retrouverions la même particularité par convergence chez les Orthoptères et chez les Hémiptères pour Cu. En ce qui concerne les Coléoptères, les Hyménoptères et les Diptères, je crains bien que Vignon n'ait parfois établi une confusion entre de véritables nervures et des sillons ou des replis chitineux de néoformation et peut-être expliquerions-nous certaines de ses données par un fait que l'auteur français admet lui-même, la transformation d'une nervure basse en nervure haute ou vice-versa dans l'évolution.

Le travail de Vignon, illustré de dessins et de photographies magnifiques, n'est qu'une communication préliminaire, et nous devons attendre un mémoire plus complet, de même que des vérifications ultérieures pour nous faire une conviction définitive ; en attendant, nous croyons pouvoir

nous en tenir à ce que nous connaissons de l'ensemble de *tous* les caractères des Insectes et surtout des données fournies par les fossiles.

La Paléentomologie a fait en ce siècle des progrès décisifs. Depuis la publication du monumental ouvrage de Handlirsch, je crois avoir démontré que le groupe des Paléodictyoptères de cet auteur était un complexe formé de Protohémiptères et des deux types de Subulicornes, les Ephéméroptères et lès Odonaptères. Nous ne possédons aucun Insecte ailé vraiment primitif, car les Insectes antérieurs au Houiller nous sont inconnus et tous les ordres actuels, sauf celui des Lépidoptères, devaient être constitués à cette époque. Grâce aux recherches de Tillyard, nous connaissons en effet des Psocides, des Homoptères, des Hétéroptères, des Coléoptères, des Stégoptères, des Diptères et des Hyménoptères du Permien ; *Sycopteron*, du Stéphanien est peut-être un Hyménoptère, et *Metropator*, du Houiller inférieur, un Stégoptère.

La classification des Insectes se présente donc jusqu'à nouvel ordre, de la manière suivante :

Il y a des *Aptilotes* n'ayant jamais eu d'ailes et des *Ptilotes* (expression d'Aristote) en possédant ou les ayant perdues. Les Ptilotes comprennent les deux catégories indiquées par moi à la suite de mes recherches sur les Insectes de Commentry, et nommées par Martynov, *Paléoptères* et *Néoptères*. Les Paléoptères ne ramènent pas les ailes sur le dos au repos et ont conservé la nervure médiane antérieure; nous en connaissons deux groupes spécialisés, les Subulicornes avec les Ephéméroptères et les Odonatoptères, et les Protohémiptères Les Néoptères n'ont plus de nervure médiane antérieure et couchent leurs ailes sur l'abdomen au repos. Ils comprennent, d'une part, les types à grand prothorax, soit paurométaboliques, soit holométaboliques à larves thysanouriformes, et d'autre part, les types holométaboliques à larves éruciformes et à prothorax réduit.

À la première catégorie, celle des *Schizothoraciques*, appartiennent les Insectes paurométaboliques, Orthoptères (*sensu latissimo*) et les Hémiptères (ceux-ci dérivant, ainsi que l'ont montré les fossiles du Permien, non pas des Protohémiptères, mais des Psocoptères), et les Coléoptères, qui sont vraisemblablement issus de Blattoïdes.

Les *Zygothoraciques* sont constitués des Pétanoptères et des Hyménoptères. L'expression de Pétanoptères est de Brauer ; elle s'applique aux Panorpoïdes de Tillyard en y ajoutant les Aphaniptères qui sont probablement des Mécoptères spécialisés. Tillyard, par une étude approfondie de la nervation alaire et par celle de nombreux fossiles a parfaitement démontré l'unité d'un ensemble formé des Stégoptères (Névroptères holométaboliques), des Diptères et des Lépidoptères. La position systématique des Hyménoptères est encore discutable. Ces Insectes holométaboliques paraissent se rattacher à la souche des Pétanoptères, mais ils pourraient avoir une origine indépendante et dériver d'un autre type Orthoptéroïde.

L'ÉVOLUTION DU RÈGNE ANIMAL

par Aug. LAMEERE
Professeur à l'Université de Bruxelles

Un discrédit fâcheux s'est étendu sur la Zoogénie, but suprême de toute la Zoologie ; la reconstitution de l'arbre généalogique des Animaux s'est, en effet, engagée et maintenue dans une impasse, du fait :

1° Du fétichisme professé à l'égard de la prétendue loi biogénétique qui a fait considérer les processus embryonnaires comme ayant une valeur récapitulative sans que l'on ait suffisamment tenu compte des modifications amenées par les phénomènes actuels de l'ontogénèse, fétichisme qui a fait envisager aussi les larves comme rappelant des formes ancestrales ; en réalité, plus nous avançons dans la compréhension du règne animal, plus nous acquérons cette conviction que les faits anatomiques sont plus fidèles que les faits embryogéniques pour l'édification de la Phylogénie ;

2° D'une conception trop étroite de l'évolution considérée comme procédant toujours par complications progressives, alors qu'il y a au contraire dans bien des cas simplification, élagage, des organismes simples en apparence et crus primitifs étant souvent des êtres simplifiés, procédant de formes plus complexes : exemple, les Turbellariés ;

3° De la méconnaissance d'un fait extrêmement répandu, la néoténie, due à la pédogénèse : des formes comme les Rotifères étant issues directement de Polychètes restées à l'état larvaire ;

4° De l'oubli du point de vue éthologique dans les recherches phylogénétiques, des descendants ayant été pris de cette façon pour des ancêtres et vice-versa, des formes de transition hypothétiques ayant été imaginées sans qu'on se rendît compte qu'elles n'étaient point viables ;

5° D'une incompréhension totale de ce qu'est le coelome considéré d'abord comme pouvant se confondre avec le système circulatoire, erreur relevée par Ray Lankester, considéré aussi avec Lang comme pouvant être primitivement d'origine schizocoelienne, alors qu'avec Edouard Van Beneden nous devons y voir une série de paires de cavités entérocoeliennes génitales pouvant, dans l'évolution, se transformer en gonades compactes de manière à donner à un animal apocoelomate l'apparence d'un animal acoelomate (Plathelminthes) ;

6° D'une confusion entre la mésoglée, anhiste, et les tissus mésenchymateux, ectomésenchyme d'origine ectodermique et mésomésenchyme procédant du mésoderme ;

7° D'une assimilation à l'endoderme des Acoelomates du revêtement de l'entéron (entéroderme) des Coelomates, l'endoderme étant représenté chez ces derniers non seulement par l'entéroderme mais encore par le mésoderme ; celui-ci peut subir une mésenchymatisation partielle ou totale.

Je résume ici les données essentielles auxquelles m'ont amené de longues méditations sur l'évolution du Règne animal après m'être efforcé d'éviter les écueils auxquels je viens de faire allusion. La justification de mes allégations se trouve dans le *Précis de Zoologie* que je publie par fascicules dans le *Recueil de l'Institut zoologique Torley-Rousseau.*

1. — Tous les êtres cellulaires sans chlorophylle sont apochlorophylliens. Les Chlamydomonadines, point de départ des Protozoaires, peuvent être considérées comme étant des zoospores d'Algues vertes restées vagabondes ; elles représentent le premier degré dans la motilité de l'Animal, le second degré étant caractérisé par la perte de la membrane cellulosique. Les Animaux sont des Végétaux émancipés.

2. — Les Métazoaires descendent très probablement des Craspédomonadines ; il n'y a pas de Mésozoaires, les Orthonectides et les Dicyémides étant des Vers dégénérés, vraisemblablement des Echiuriens.

3. — Il existe deux types de Métazoaires, les Spongiaires et les Neuromyaires, ceux-ci ayant des cellules nerveuses et de véritables cellules musculaires. Les deux types ne peuvent descendre que d'un ancêtre commun, la nature de la cellule, le cycle biologique et la morphologie étant identiques. Il a dû se former dans le massif pluricellulaire d'une Craspédomonadine fixée un gonocoele s'ouvrant par un gonopore au pôle libre ; différenciation d'un endoderme et d'un ectoderme, ce dernier formé de choanocytes préhenseurs d'aliments et d'un ectomésenchyme renfermant les gonocytes. Chez le Spongiaire, percement de la paroi par des pores inhalants traversant les cellules endodermiques, le gonopore devenant exhalant, et différenciation du revêtement externe en choanocytes allant tapisser le gonocoele et en cellules épidermiques protectrices. Chez le Neuromyaire, par contre, l'endoderme devient préhenseur d'aliments, le gonopore devient inhalant et le régime mégalophage, et tous les choanocytes constituent à la surface un épiderme.

4. — Les Coelentérés, types fondamentaux des Neuromyaires, se répartissent en Hydrozoaires commençant par les Hydroïdes qui sont ou Gymnoblastiques ou Calyptoblastiques. Aux Gymnoblastiques se rattachent les Siphonophores et peut-être aussi les Graptolithes ; des Calyptoblastiques descendent les Automéduses avec les Trachyméduses et les Narcoméduses, ces dernières ayant engendré les Acalèphes d'une part, les Cténophores de l'autre.

5. — Les Anthozoaires peuvent être considérés, sous leur forme primitive de Cérianthaires, comme issus de Tubulaires tels que *Branchiocerianthus*. Tous les autres Anthozoaires semblent dériver de stades larvaires de Cérianthaires, les uns ayant comme point de départ le stade cérinula à six loges, les autres, les Octocoralliaires, le stade où le nombre de loges est de huit. A la première catégorie appartiennent trois types, les Antipathaires, les Tétracoralliaires et les Dodécamères (Zoanthaires et Hexactiniaires).

6. — Les Coelomates comprennent les Hyponeuriens (Vers, Mollusques, Arthropodes) et les Epineuriens (Prochordés et Vertébrés). Les uns et les autres ont trop de caractères communs pour que nous ne les considérions pas comme provenant d'un seul et même ancêtre. Celui-ci doit être, suivant l'hypothèse d'Edouard Van Beneden, un Cérianthaire. Le mode de croissance très original des Cérianthaires est identique à celui de tous les Coelomates. Les loges mésentériques seraient devenues les cavités coelomiques par formation d'un plancher séparant l'étage actinopharyngien de l'étage gastrique. L'Hyponeurien serait retourné et progresserait sur son actinopharynx extravasé : les tentacules labiaux et les tentacules marginaux seraient devenus les cirres ventraux et dorsaux des parapodes. L'Epineurien, adapté à la vie pélagique et au régime microphage, conserverait l'orientation originelle ; son actinopharynx se serait fermé pour constituer le système nerveux central au-dessus d'une corde dorsale formée par les cellules endodermiques raccordant l'actinopharynx à l'entéron ; les tentacules labiaux et les tentacules marginaux seraient devenus par coalescence longitudinale la nageoire impaire et les nageoires paires.

7. — Les Vers, Hyponeuriens primitifs, d'où sont issus les Mollusques et les Arthropodes, ne sont donc pas les ancêtres des Epineuriens. Il faut diens microphages ou sédentaires, ceux-ci étant Phanérocéphales ou Cryples répartir en deux catégories, les Orthosomes et les Dérosomes. Les Orthosomes ont le corps allongé dans le sens antéro-postérieur et ils peuvent être distribués en Dioïques et Monoïques. Les Dioïques débutent par les Néréidiens, association des Polychètes et des Géphyriens, ces derniers étant polygénétiques. Il y a des Néréidiens mégalophages ou errants et des Néréitocéphales. Les Phanérocéphales comprennent les Spionomorphes, qui se nourrissent de plancton flottant, et les Drilomorphes qui sont fouisseurs. Les autres Dioïques sont des types spécialisés plus ou moins néoténiques ; les Némertiens se rattachent sans doute aux Néréidiens de la famille des Phyllodocides ; les Rotifères sont probablement des larves pédogénétiques d'Eunicides ; les Gastérotriches, auxquels se rattachent vraisemblablement les Nématodes, des larves de Spionides ; les Echinodères, auprès desquels il faut ranger probablement les Gordiacés et les Acanthocéphales, sont aussi un type réduit dérivant de l'un ou de l'autre Néréidien. Les Tardigrades et leurs descendants probables les Linguatules, n'ont vraisemblablement rien à voir avec les Arthropodes et paraissent être des formes rabougries d'Amphinomides. Les Onychophores aussi ne semblent avoir

de l'affinité pour les Arthropodes que par convergence : ce sont vraisemblablement des Amphinomides adaptés à la vie terrestre. C'est encore aux Amphinomides, les plus primitifs d'entre les Vers de la nature actuelle, que nous devons rattacher et les Mollusques et les Arthropodes.

8. — Les Vers monoïques débutent par les Oligochètes qui sont issus de Drilomorphes et qui ont donné les Hirudinées. A ces dernières se rattachent vraisemblablement les Plathelminthes, à titre de formes néoténiques, et qui sont aux Hirudinées, dont ils ont le tube digestif et l'appareil génital compliqué, ce que les Némertiens sont aux Néréidiens. Aux Polyclades ont succédé les Triclades, à ceux-ci les Rhabdocoeles qui aboutissent aux Acoeles et dont les formes les plus primitives ont fourni le groupe des Trématodes et des Cestodes.

9. — Les Vers de la catégorie des Dérosomes ont pour prototype les Phoronidiens que nous pouvons considérer comme étant des Cryptocéphales dont le corps est allongé, par la formation d'une forte saillie ventrale, perpendiculairement à l'axe antéro-postérieur. Ces Animaux ont conservé le régime microphage des Spioniformes ancestraux. On peut leur rattacher les Bryozoaires, Ectoproctes et Endoproctes, ceux-ci ayant un caractère néoténique, d'une part, et d'autre part les Brachiopodes avec leurs descendants probables les Chétognathes, qui semblent avoir persisté à l'état de larve de Brachiopode pélagique. Tous ces types forment la catégorie des Molluscoïdes, et aux Phoronidiens se rattachent encore les Hydrocoeliens, catégorie groupant les Entéropneustes et les Echinodermes. Les Entéropneustes débutent par les Ptérobranches, *Rhabdopleura* et *Cephalodiscus*, d'où peuvent être considérés comme dérivés les Balanoglosses par un allongement secondaire du corps qui est une adaptation au fouissement. C'est des Ptérobranches que doivent être issus les Echinodermes qui sont des formes fixées par l'épistome et ayant subi la révolution bien expliquée par Bather, révolution qui en a fait des Cystoïdes; le système ambulacraire n'est que la partie gauche du lophophore appliquée contre le tronc.

10. — Dans l'ensemble des Epineuriens, les Vertébrés semblent procéder en droite ligne d'un ancêtre primitif d'où descendrait l'*Amphioxus*, type des Céphalochordes, et le Tunicier. Le Caducichorde, type fixé et réduit à l'état adulte à son extrémité antérieure fortement dilatée, aurait donné par néoténie, le type des Pérennichordes.

L'INSTINCT

par L. VERLAINE

Professeur à l'Université de Liége

Chacun conçoit et définit l'instinct à sa façon. Deux conceptions maîtresses, cependant, divisent les biologistes et les philosophes modernes, auxquelles toutes les autres peuvent être rattachées : l'*automatisme psychique* des spiritualistes néo-thomistes, qui remonte à saint Thomas d'Aquin, et *l'automatisme pur* des matérialistes néo-cartésiens.

Les acquisitions récentes de la psychologie comparée me paraissent démontrer qu'elles sont fausses toutes deux, que l'instinct n'est qu'une formule facile à éluder le déterminisme complexe des fonctions de relation chez la bête.

Automatisme psychologique. — L'instinct est une faculté de connaissance *sui generis* (estimative), totalement indépendante des processus mentaux d'association, les stimulations externes et les perceptions sensorielles n'étant que des occasions et non les causes de l'activité dite instinctive. Cette faculté de connaissance constitue une force psychique interne, innée, qui détermine fatalement l'espèce à réaliser automatiquement (lisez spontanément) sa destinée voulue par Dieu.

Automatisme pur. — Le problème de la conscience est inaccessible à l'expérimentation. L'animal est une machine. Dans les mêmes conditions physiologiques et biologiques, tous les animaux de la même espèce accomplissent toujours nécessairement, de la même manière, et sans les avoir appris, certains actes plus ou moins complexes, en réponse à certaines excitations externes.

L'Automatisme mixte de Buffon procède à la fois de ces deux doctrines. C'est l'automatisme psychique allégé de l'estimative, ou bien c'est l'automatisme pur dont chaque étape est accompagnée d'états de conscience particuliers et isolés les uns des autres.

Ces doctrines sont d'origine assez récente. Aucun philosophe de l'Antiquité n'a réellement posé le problème de l'instinct. Ces philosophes pensent généralement qu'il existe une différence entre l'âme animale et l'âme humaine, mais ils envisagent cette question plutôt en moralistes qu'en psychologues. Les moins généreux d'entre eux, les platoniciens et les stoïciens, refusent à l'animal la faculté d'abstraire et de généraliser. Mais ils lui accordent tout de même des appétits, la sensibilité et la mémoire,

l'imagination (âme sensible opposée à l'âme raisonnable de l'homme). On ne pourrait guère accorder quelque attention au sujet de l'origine de l'instinct qu'à Cicéron et à Sénèque. Le premier attache en effet une certaine importance aux appétits qui poussent naturellement les êtres à l'action, et le second étaye sa distinction entre l'âme de la brute et celle de l'homme par la constatation que l'araignée n'apprend pas à faire sa toile, ni l'abeille à construire ses loges hexagonales et que les bêtes ne peuvent varier leurs industries comme l'homme. Mais les appétits ne sont ni l'estimative, ni l'instinct, ni le réflexe des néo-cartésiens, et si ce sont des dons naturels, l'intelligence en est un aussi.

Pour intéressantes qu'elles soient, leurs assertions n'en sont pas moins, faut-il le dire, purement théoriques. Artistote seul a observé et étudié les animaux. Or, il ne leur refuse qu'une intelligence spéculative, c'est-à-dire qui réfléchit sur ses propres opérations, et toute son œuvre s'oppose de la façon la plus radicale à l'intervention d'une faculté psychique étrangère à la sensibilité et à la mémoire dans l'activité normale des animaux. Il n'existe d'ailleurs dans la langue grecque aucune expression susceptible de traduire l'un ou l'autre *des concepts modernes de l'instinct*, sinon peut-être ὁρμή pris au sens figuré d'impulsion. Ce sont les traducteurs, les commentateurs et les compositeurs de dictionnaires qui, aujourd'hui, malgré leur profonde ignorance des sciences naturelles se croient autorisés à attribuer aux penseurs d'il y a deux mille ans leurs propres conceptions relatives à cette prétendue faculté.

La langue latine possède le mot *instinctus* auquel certains se croient permis d'accorder une étymologie grecque !... Mais *instinctus* signifie uniquement et exactement *impulsion*, *excitation*, *incitation*.

Ce terme est toujours accompagné d'un complément déterminatif qui fait connaître s'il s'agit d'une agitation inexplicable de l'âme, d'une stimulation externe ou interne, et, dans ce cas, innée ou acquise. Presque toujours pourtant, lorsqu'il est question d'une excitation interne, son origine n'est pas envisagée. *Natura* ou *Naturalis*, comme φύσις chez les Grecs, satisfont généralement, pour autant qu'elle se soit manifestée, la curiosité relative au déterminisme des phénomènes psychologiques dont il est fait mention. Cette manière de s'exprimer semble tout au plus indiquer une tendance à scinder l'activité des bêtes en deux groupes de comportements qu'on retrouve d'ailleurs chez l'homme : des *comportements normaux*, les plus nombreux, indispensables à la vie dans des conditions habituelles, dont on dit quelquefois qu'ils sont innés, mais que l'on considère aussi souvent comme le résultat d'une éducation nécessaire, et des *comportements occasionnels* ou exceptionnels, déterminés par des circonstances inaccoutumées.

Instinctus devient *instinct*, mais conserve sa signification latine originelle jusqu'au début du XVIII[e] siècle au moins.

De même que saint Thomas n'a eu recours au mot *instinctus* accompagné d'un adjectif, qu'exceptionnellement, Descartes n'a pas employé une seule fois le mot instinct dans son œuvre. Fléchier parle encore de l'*instinct de liberté* et Bossuet de l'*instinct du Saint-Esprit*. Et encore une fois, ce

sont les traducteurs qui attribuent aujourd'hui leurs propres conceptions aux penseurs d'expression latine. Ils abusent même parfois de la langue française avec une désinvolture déroutante.

C'est saint Thomas d'Aquin qui, le premier, conçoit l'instinct, en inventant de toutes pièces l'*estimative* qui doit sauvegarder le dogme de l'immatérialité de l'âme humaine et de la matérialité de l'âme animale à laquelle l'Ecriture sainte refuse les récompenses paradisiaques.

Ses assertions ne sont étayées d'aucune observation ni d'aucune expérience. Il s'agit pour lui d'un problème théologique, résolu par l'interprétation des textes sacrés, plutôt que d'un problème biologique et psychologique à résoudre expérimentalement. Depuis Aristote d'ailleurs, la zoologie n'a plus progressé ; son étude, sévèrement interdite pendant plus d'un millénaire par les détenteurs du pouvoir religieux, vient d'être réhabilitée par Albert le Grand qui n'a su que plagier Aristote et quelques auteurs arabes, en profanant la philosophie zoologique du Stagirite.

Les Pères de l'Eglise, à la recherche d'une doctrine philosophique conforme à la légende de la genèse, paraissent soudainement découvrir Aristote et le réclament pour maître après l'avoir condamné vingt-sept fois. En réalité, ils ne cherchent qu'à s'assurer l'inappréciable bénéfice de la puissante autorité qu'il n'a cessé d'exercer sur les esprits, sans renoncer aux conceptions platoniciennes.

L'instinct est un dogme d'origine et d'essence purement religieuses. La conception néo-thomiste n'est introduite dans le domaine scientifique qu'au début du siècle passé par Fr. Cuvier qui, bientôt soutenu par Flourens, établit ce que l'on a appelé les critères objectifs de l'instinct : innéité, spécificité, spécialité, immuabilité, etc. Les philosophes spiritualistes s'emparent immédiatement de ces critères et les incorporent à la doctrine de saint Thomas ; ils les défendent encore âprement de nos jours, envers et contre toute évidence, dans leurs manuels de philosophie thomiste.

Descartes, défenseur averti du tout ou rien en psychologie, mais soucieux d'autre part de ne point porter atteinte aux croyances de son époque relatives à la mortalité de l'âme animale, adopte la seule attitude qu'aurait dû prendre logiquement saint Thomas. Ne pouvant accorder l'intelligence à la bête, il lui refuse la conscience ; il rejette donc non seulement l'estimative, mais les perceptions sensorielles isolées les unes des autres auxquelles Buffon croira pouvoir recourir plus tard pour mettre tout le monde d'accord.

Mais il est obligé, dans sa lettre à Morus, d'admettre que les machines animales vivent et sentent et, par conséquent, il ne diffère de saint Thomas que parce qu'en écartant l'estimative de l'automatisme psychologique, il substitue des causes externes efficientes à la cause finale interne du grand théologien.

Descartes n'a lui-même ni observé les animaux ni expérimenté. Sa thèse est aussi théorique que celle de saint Thomas et entachée d'une préoccupation d'ordre religieux. Les admirables découvertes relatives au déterminisme physicochimique du fonctionnement des organes, réalisées

coup sur coup dans le courant du siècle passé, lui ont conféré brusquement une grande autorité dans le monde des biologistes qui ont cru pouvoir conclure de la physiologie des organes à la physiologie de l'être total.

Entretemps, l'éthologie ébauchée par Aristote et timidement engagée par lui déjà dans la voie de l'expérimentation, réapparaît après plus de deux mille ans avec Ch. Bonnet, puis Réaumur, Fr. et P. Huber ; mais le premier travail de physiologie comparée, expérimentale est dû à Georges Leroy. Et n'est-il pas étonnant de constater que le premier continuateur d'Aristote nie l'instinct, le Stagirite n'ayant pas éprouvé lui-même la nécessité de recourir à cette entité verbale pour expliquer la psychologie animale. Sans doute, G. Leroy a-t-il été influencé par Condillac ! Quoi qu'il en soit, il apporte à l'argumentation théorique du célèbre abbé un premier contingent de faits objectifs d'une valeur indiscutable. A son avis, les animaux supérieurs étudiés par lui sont doués en naissant de potentialités psychiques particulières, inhérentes à leur espèce, mais en tous points analogues aux nôtres. Tous les animaux d'une même espèce doivent nécessairement les réaliser de la même manière puisqu'ils sont stimulés par des besoins identiques, peu nombreux et fort simples et par des conditions d'existence d'une grande stabilité. Les instincts ne sont donc que des habitudes acquises individuellement. L'automatisme est secondaire et non pas primordial, inné. Il n'y a pas dans la bête deux facultés qui s'opposent l'une à l'autre, mais un seul pouvoir psychologique qui suffit à expliquer à la fois ce que l'on appelle l'instinct et l'intelligence. Ce pouvoir, c'est la sensibilité, la mémoire, l'imagination et même chez certains animaux, l'abstraction et la généralisation.

Condillac et G. Leroy résolvent parfaitement le problème de l'évolution mentale des individus et expliquent fort simplement pourquoi tous les animaux d'une même espèce se trouvent assujettis à l'obligation d'accomplir cette évolution d'une manière à peu près identique. Mais ils ne soupçonnent pas que si certaines innovations peuvent adapter les comportements ancestraux à des circonstances nouvelles, le comportement spécifique pourrait bien ne pas avoir toujours été ce qu'il est aujourd'hui. Le problème de l'évolution des espèces leur échappe encore.

C'est au XIXe siècle qu'appartient l'honneur de poser cet important problème et de lui apporter une solution qui me paraît complète, du moins théoriquement, bien qu'encore ignorée dans ce qu'elle a d'essentiel au point de vue psychologique.

Malgré Georges Cuvier, Lamarck et Darwin renversent définitivement le dogme de l'immuabilité des espèces animales, et dressent partiellement la liste des causes et des mécanismes de la variabilité des comportements normaux des animaux ; et malgré l'autorité acquise brusquement par Weismann dans la négation de l'hérédité des habitudes acquises d'origine fonctionnelle et à fortiori psychologique, Wallace complète la liste des causes de l'évolution des soi-disant instincts en combinant très judicieusement la doctrine de Condillac et de Leroy avec celles de Lamarck et de Darwin, et en restituant au milieu la part importante qui lui revient

toujours dans la transmission héréditaire des caractères morphologiques et fonctionnels de tout organisme, des caractères psychiques surtout. Toute habitude nouvelle peut être acquise à chaque génération par tous les individus d'une même espèce, pourvu que ceux-ci soient doués des mêmes pouvoirs et stimulés à la fois par les mêmes besoins et par les mêmes modifications brusques et définitives des conditions de vie ancestrales. Dans les familles et surtout dans les sociétés animales, l'initiative d'un seul peut être imitée par les autres et l'exemple s'ajoute alors au complexe des déterminants de l'ambiance.

Au surplus, la sélection naturelle n'abandonne jamais ses droits. L'évolution des comportements normaux s'explique donc fort simplement dans tous les cas où son origine est incontestablement indépendante d'une mutation morphologique ou physiologique préalable, par ce que l'on appelle la fausse hérédité, par l'influence constamment renouvelée des mêmes facteurs de l'ambiance sur les générations successives, en attendant que l'on parvienne à prouver, si cela est possible, l'hérédité sexuelle des habitudes acquises.

Mais Wallace n'est plus guère consulté aujourd'hui. Le néo-lamarckisme a détaché, de l'automatisme psychique fixiste des spiritualistes néo-thomistes, un automatisme psychique évolutionniste assez semblable à l'automatisme mixte de Buffon et qui cherche l'explication de l'instinct dans une sorte de défaillance de l'intelligence, tandis que les doctrines néo-darwiniennes et weismanniennes ont renforcé de tout leur poids les conceptions matérialistes des partisans de l'automatisme pur. Jamais les esprits ne se sont montrés aussi irréductiblement divisés, parce qu'ils posent mal la question ou n'en aperçoivent pas l'essentiel. Le problème est cependant assez simple, mais il faut savoir l'énoncer : l'automatisme incontestable des étonnantes industries auxquelles se livrent certains animaux, est-il primordial ou secondaire, inné ou acquis, quelle est son histoire, de quel pouvoir psychologique relève-t-il ?

L'expérimentation seule peut évidemment répondre à ces questions ; encore faut-il la concevoir et l'appliquer d'une certaine manière. Il ne s'agit pas, en effet, d'imiter Fabre et de se borner à taquiner sommairement un animal dont les potentialités initiales ont eu, pour la plupart, le temps de s'évanouir, faute d'usage, au profit de quelques réactions indispensables qu'un exercice suffisamment renouvelé a elles-mêmes à peu près complètement automatisées, mais de chercher à établir ce que sont ces potentialités au point de départ, ce qu'elles deviennent normalement au cours de l'existence, et ce qu'elles peuvent devenir dans des conditions de vie nouvelles.

D'innombrables travaux de psychologie comparée, publiés depuis une trentaine d'années, ont incontestablement prouvé qu'un animal quelconque, fût-ce un unicellulaire, perçoit certaines excitations, en garde le souvenir sous la forme d'une irritabilité particulière et peut, à l'avenir, associer des stimulations actuelles avec ces états d'irritabilité conservés par

la mémoire, de manière à adapter ses comportements habituels à des contingences inaccoutumées.

D'autre part, toutes mes recherches sur l'instinct et l'intelligence des Hyménoptères et l'étude de De Koninck sur les relations des Abeilles avec les fleurs, conduites de la manière que j'ai indiquée, me paraissent avoir donné raison à Condillac, Leroy et Wallace, et démontré que ce que nous attribuons à l'instinct dans les industries des bêtes n'est qu'une résultante fatale de l'exercice normal d'aptitudes psychiques fondamentales, plus ou moins développées et d'allure particulière suivant les espèces, mais en tous points comparables, au degré près, à nos propres aptitudes mentales, et atteignant toujours au moins le niveau de l'imagination des psychologues et de la mémoire associative des biologistes.

Les Hyménoptères apprennent fort simplement à retourner au nid ; ils apprennent à butiner les fleurs ou à capturer leurs proies, à bâtir leurs merveilleux gâteaux de cellules hexagonales, à se défendre contre leurs ennemis et à les attaquer, comme les oiseaux apprennent à construire leur nid, à élever leurs jeunes, à chanter, à manger même. D'une fois à l'autre, les manières de faire s'améliorent, les gestes se précisent, se sélectionnent et conduisent plus vite et mieux au but imposé par la nature. Et s'il existe des comportements complexes qui, d'emblée, se trouvent réalisés sans apprentissage apparent, la mémoire associative y intervient encore nécessairement tout le long de la route parcourue, depuis le premier geste jusqu'au dernier.

D'autres qui ne doivent s'accomplir qu'une seule fois sont absolument soumis aux mêmes règles. L'apprentissage se réalise de soi-même, par le jeu fatal des énergies internes et externes, mais il est toujours tributaire de processus associatifs plus ou moins complexes.

Les perceptions sensorielles isolées les unes des autres n'existent que dans notre imagination. L'événement psychologique le plus simple n'est pas la sensation ou l'irritation, mais l'établissement d'un rapport ; la vie est un flux constant de relations qui s'établissent dans le présent, en fonction du passé, entre le présent et le passé qui les détermine, entre le présent et l'avenir qu'il prépare.

Mais il y a le réflexe !

Le réflexe isolé n'existe pas plus que la sensation isolée. Le papillon doit apprendre à butiner, à adapter aux circonstances le réflexe banal du déroulement de la trompe, comme l'enfant apprend à têter. Un phasme autotomise différemment une patte entravée suivant les circonstances et suivant l'état d'irritabilité que lui ont conférés les événements qu'il a traversés avant de recevoir l'excitation qui le détermine à réagir et qui pourrait le laisser indifférent.

La machine vivante sort un jour des mains de la nature, plus ou moins bien constituée pour fonctionner dans l'ambiance qui lui a été désignée par le sort ; si ses réflexes sont nuisibles, elle les évite à l'avenir, et s'ils sont défectueux elle les corrige, ou bien elle est sacrifiée ; s'ils sont parfaits, elle les reproduit et si, quoique exactement adaptés à des condi-

tions de vie normales, des contingences inaccoutumées les rendent brusquement nuisibles ou dangereux, elle les abandonne ou les transforme pour autant que son activité ne se soit pas déjà trop automatisée. Abandon, modification et renouvellement lui-même, ne sont possibles qu'en vertu de processus associatifs. Une réaction quelconque, si élémentaire soit-elle, ne se répète jamais identique à elle-même sous l'influence des mêmes causes, et la même activité, ou ses apparences, ne se renouvelle jamais d'ailleurs sous l'impulsion du même complexe de facteurs ; les causes les plus différentes peuvent se substituer au stimulus qui a dû nécessairement intervenir la première fois. Dans l'état actuel de nos connaissances, les lois de la causalité efficiente ne paraissent pas suffire à expliquer la vie de l'animal considéré comme une unité biologique. C'est en cette constatation de notre impuissance à expliquer ce qu'on appelle la mémoire associative que réside aujourd'hui l'unique mystère, le psychisme.

La mémoire associative, en effet, constitue un mécanisme vital par lequel s'expliquent tous les phénomènes de la vie de relation, de la physiologie du comportement ou de la psychologie si l'on veut, y compris les facultés supérieures de l'esprit, l'abstraction et la généralisation, en un mot, l'instinct et l'intelligence.

Tout est inné chez l'animal, à *l'état de potentialités*, dans la morphologie et la physiologie, et tout particulièrement dans la physiologie des organes sensoriels et nerveux. Par conséquent, *tout s'acquiert* dans le comportement normal ou occasionnel, en fonction des stimuli infligés par l'ambiance, et des pouvoirs d'activité que possède la machine spéciale qu'est la bête à sa naissance.

Tout est spécifique, la puissance intellectuelle la plus élevée y compris son indépendance relative et apparente à l'égard des circonstances, aussi bien que le réflexe le plus élémentaire, du moment qu'il y va de la conservation de l'existence.

Tout est spécial, n'importe quel acte portera toujours le cachet spécial de l'espèce, qu'il utilise pour s'accomplir les outils de ce qu'on appelle l'intelligence, même spéculative, ou les instruments d'une mécanique quelconque.

Rien n'est stable dans le comportement des organismes qu'en vertu de la permanence du complexe « organisme × milieu », et l'activité normale de n'importe quel être est apte à varier dans toute la mesure évidemment où la vie reste possible dans les conditions nouvelles requises par la variation, que celle-ci soit d'ordre morphologique, physiologique ou psychique.

On a cru devoir scinder la vie en deux groupes de phénomènes *opposés* l'un à l'autre dans leurs causes primordiales : les comportements normaux, adaptés d'avance, et les comportements exceptionnels, adaptatifs : l'instinct et l'intelligence.

Le même déterminisme et les mêmes mécanismes essentiels régissent ces deux sortes de phénomènes.

On appelle instinct les résultats de l'activité d'une intelligence généralement élémentaire, mais aussi parfois assez complexe, et qui sont indispensables à la conservation de l'existence dans des conditions de vie invariables. On appelle intelligence les manifestations d'une intelligence d'un degré quelconque, et dont la nécessité ne se manifeste qu'exceptionnellement, ou qui paraissent capricieux ou seulement plus utiles à la réalisation de la destinée des individus. La sensibilité et la mémoire associative suffisent à expliquer tout le déroulement de l'activité normale ou exceptionnelle de la bête depuis la naissance jusqu'à la mort.

Si la conscience est inaccessible à l'expérimentation, a fortiori la *vis aestimativa*, (l'opinion, la notion innée de la nocivité ou de l'utilité des choses, le discernement ou toute autre faculté du même genre), inventée par les philosophes ou certains biologistes pour sauver une cause qui n'a rien de scientifique, s'y soustrait-elle et s'y soustraira-t-elle toujours. Elle est d'ailleurs parfaitement superflue. L'automatisme mixte de Buffon et l'automatisme psychologique des néo-thomistes sont insoutenables.

Mais l'automatisme pur des néo-cartésiens n'est pas davantage défendable. Les biologistes qui ont découvert le déterminisme physico-chimique du fonctionnement des organes ont cru également pouvoir expliquer par la mécanique et la physico-chimie les fonctions de relation de l'organisme total. C'est, dans l'état actuel de nos connaissances, un abus regrettable qui les a conduits, sans qu'ils s'en aperçoivent, à stériliser en leurs mains cependant si habiles la méthode expérimentale propre à l'étude de cet objet si spécial qu'est la psychologie animale, voire la psychologie sans aucun qualificatif. Pour le moment, en effet, le déterminisme de la physiologie de l'organisme considéré comme une unité biologique reste irréductible au déterminisme de la physiologie des organes pris chacun isolément, et paraît assujetti à des lois vitales particulières, en ce sens qu'il semble bien se soustraire aux lois de la causalité efficiente.

Est-ce à dire qu'il existe une cause finale, une entéléchie quelconque ? Non pas. Le psychisme ou la mémoire associative comporte deux sortes de phénomènes : la mémoire, propriété universelle de la matière, quel que soit son degré de complexité, et l'association qui paraît toujours impliquer un choix de la combinaison réalisée parmi les combinaisons possibles à chaque instant, un choix parmi les irritations actuelles nombreuses et variées, et parmi les états d'irritabilités multiples qu'a créés le passé, parmi les mécanismes tout prêts à fonctionner et dont un seul émerge, celui-là seul généralement qui est utile à la conservation de la vie dans les conditions du moment.

Ce choix pourtant n'est qu'illusoire et n'est qu'une forme de la mémoire spéciale inhérente à l'inouïe complexité de la matière vivante. L'intervention d'énergies différentes de celles qui régissent l'univers entier n'est point nécessaire pour l'expliquer.

Mais s'il faut encore étayer cette affirmation d'une base objective,

pour le moment, nous tenons pour certain qu'il n'existe aucune différence de nature entre l'âme raisonnable et l'âme sensible, ni entre l'âme sensible et l'âme végétative des platoniciens et des néo-thomistes, entre l'intelligence et l'instinct.

Le doute ne subsiste plus qu'en ce qui concerne l'existence d'une différence essentielle entre la vie de l'organisme et celle de chacun de ses organes, entre la physico-chimie organique et la physico-chimie de la matière brute.

L'AUTOTOMIE PSYCHIQUE CHEZ LES PHASMIDES
(Dixippus morosus)

par L. VERLAINE
Professeur à l'Université de Liége

Pour la grande majorité des biologistes, l'autotomie est un réflexe au sens strict du terme, c'est-à-dire une réaction très spéciale et nécessaire d'un organe déterminé à l'irritation d'une région sensorielle précise, par un stimulus particulier, invariable.

H. Piéron est cependant d'avis qu'à l'autotomie réflexe peut s'ajouter chez certains organismes, une autotomie psychique, le psychisme s'exprimant en l'occurrence par la variabilité des excitants susceptibles de provoquer la réaction, et de la nature ou de la situation des organes sensoriels qui leur correspondent.

Il s'agit non plus d'une action *réflexe*, mais d'une action *volontaire*, *instinctive* si, malgré sa complexité, elle doit normalement être accomplie par tous les animaux d'une même espèce dans des conditions de vie invariables, *intelligente* si, au contraire, elle implique une adaptation utile du comportement à des contingences inaccoutumées.

Je ne puis, dans cette note préliminaire, discuter cette opinion ni rechercher dans la bibliographie les faits qui paraissent l'étayer. Les observations de H. Piéron sont extrêmement intéressantes. Elles ont été reprises et confirmées par J. Roskam sur plusieurs espèces de crabes qui n'autotomisent la patte attachée au rocher au moyen d'une ficelle fixée à son extrémité que lorsqu'ils se trouvent mis en présence d'un Poulpe, grâce à des processus nerveux d'association qui sont abolis par la section des connectifs périœsophagiens, écartant les ganglions cérébroïdes.

Des phénomènes analogues peuvent-ils être provoqués expérimentalement chez les *Dixippus morosus*, dont le psychisme paraît devoir être tellement élémentaire qu'on est tenté de nier son existence? Voici quelques résultats de mes nombreuses expériences qui seront relatés ultérieurement en détail et confrontés alors avec ceux de mes prédécesseurs.

Fidèle aux principes qui m'ont guidé jusqu'ici dans mes travaux de psychologie comparée, j'ai cru devoir m'adresser uniquement à de tout jeunes Phasmes. Mes premières recherches ont eu pour but d'établir l'âge et l'état physiologique les plus propices à la réaction, le stimulus le meilleur, les pattes qui réagissent le mieux et l'endroit de la patte le plus sensible. Presque toujours, j'ai fait chaque expérience sur 50 individus.

Les Phasmes nés depuis vingt-quatre heures à peine, ayant pu se désaltérer abondamment, doués encore de toutes leurs potentialités psychologiques, donnent les meilleurs résultats ; mais il faut qu'ils soient actifs au moment où on leur applique un stimulus quelconque. Isolés de tout objet auquel ils puissent s'agripper, ou bien en état de sommeil ou d'immobilisation réflexe, ils se comportent beaucoup moins bien ou très mal. Les pattes postérieures sont plus sensibles que les intermédiaires, et celles-ci le sont davantage que les antérieures.

Le pincement de l'appendice paraît être le stimulus le plus efficace, sans doute parce qu'en même temps qu'il excite l'organe, il entrave l'animal qui semble avoir besoin, pour autotomiser la patte excitée, de s'aider d'un point d'appui. C'est pourquoi la section du membre, la brûlure, l'électricité, les liquides corrosifs restent sans effet tant que la patte traitée par eux n'est pas entravée (extrémité du tarse tenue au moyen d'une fine pince d'anatomie).

Le *pincement* provoque l'autotomie s'il est appliqué à un endroit quelconque de la patte depuis la base du fémur jusqu'à la base du tibia inclusivement ; mais son influence va en décroissant et devient nulle à partir du milieu du tibia jusqu'à l'extrémité du tarse.

La *brûlure* agit de la même façon sur une patte entravée, mais elle est encore active parfois jusqu'à l'extrémité du tarse (5 sur 50). Elle peut déclencher la chute de la patte entravée quand elle est appliquée à la région postérieure de l'abdomen (7 sur 50).

Le *courant électrique alternatif* est également efficace appliqué d'une manière spéciale à diverses régions du corps.

L'*acide acétique glacial* répandu avec un pinceau sur la tête ou sur l'abdomen provoque aussi la réaction.

Le réflexe peut donc être déclenché par des stimuli variés et appliqués à des organes sensoriels différents, ou bien au même organe sensoriel localisé différemment à la surface du corps, et l'autotomie mérite d'être qualifiée de psychique chez les Phasmes comme chez les Crabes, si l'on admet l'opinion de H. Piéron à cet égard.

Mais le phénomène est beaucoup plus complexe et peut s'accomplir dans des conditions qui lui donnent une singulière ressemblance avec les processus de la mémoire associative.

Si l'on entrave une patte postérieure en pinçant l'extrémité du tarse dans la fente d'un plomb de chasse qui sert de lest aux pêcheurs, et suffisamment léger pour que l'animal puisse le traîner à sa suite sans aucune difficulté, l'autotomie se produit pendant l'heure qui suit l'opération, chez 37 individus sur 100. L'entrave prolongée ou un pincement du tarse quelque peu durable, développe dans l'organisme un état d'irritabilité qui suffit à rendre l'excitation du tarse efficace et qui confère, nous allons le voir, à des régions sensorielles insensibles le pouvoir de déclencher la riposte lorsqu'elles sont excitées par des stimuli dont l'intensité peut être beaucoup inférieure à ce qu'elle doit être normalement pour provoquer l'autotomie quand on l'impose à une région du corps sensible.

Après trois heures d'entrave, les individus qui n'ont pas autotomisé la patte lestée d'un plomb de chasse se la sectionnent instantanément dix fois sur dix si on en pince le milieu du tibia qui normalement ne réagit pas (0 sur 50).

La durée de l'entrave paraît présenter pour les autres excitants un optimum d'efficacité qui semble être d'environ une heure. Après une heure d'entrave presque tous les sujets réagissent en moins d'une seconde souvent, si l'on applique de l'acide acétique sur leur tête (46 sur 50), si l'on imbibe de ce produit le papier buvard sur lequel ils sont posés (49 sur 50), ou bien si l'on en projette doucement la vapeur sur eux (19 sur 25).

La brûlure donne des résultats semblables. Mais une excitation prolongée du tarse n'est point nécessaire pour développer cet état d'irritabilité propice à l'autotomie. Une première excitation non efficace laisse des traces dans l'organisme, qui peuvent la rendre efficace lorsqu'elle se reproduit au même endroit du même organe. Ce phénomène n'est évidemment possible que si l'on utilise un stimulus qui ne lèse pas l'organe excité, le courant électrique par exemple.

Je possède un appareil à électriser qui porte une échelle des intensités graduée de 0 à 100. L'intensité (50) appliquée au milieu du tibia d'une patte postérieure provoque l'autotomie chez 6 sujets sur 50. Appliquée cinq fois de suite au même endroit sur 50 autres sujets, elle la provoque 31 fois sur 50.

L'intensité 10 utilisée de la même manière produit respectivement 2 et 17 fois l'autotomie sur 50 exercices chaque fois. Sur 50 sujets qui n'ont pas réagi une première fois à l'intensité 10 appliquée à la base du fémur, 44 abandonnent la patte au cours des quatre excitations suivantes.

En ce qui concerne les autres stimuli qui lèsent l'organe irrité et qui nous forcent à les appliquer ultérieurement à une autre région de la même patte, à un autre membre ou à un endroit quelconque du corps, des faits fort intéressants sont à signaler.

Un premier pincement d'un endroit insensible ou peu sensible détermine ou accroît l'efficacité d'un second pincement appliqué lui-même à un autre endroit insensible ou peu sensible.

Le milieu du tibia (0 sur 50) devient sensible (10 sur 50) après le pincement du tarse (0 sur 50), et ainsi de suite. Mais l'influence de la première excitation sur la seconde est d'autant plus grande que les deux excitations sont appliquées à des endroits plus rapprochés l'un de l'autre et plus rapprochés tous les deux de la région la plus sensible, la base du fémur.

Ainsi, si le pincement du *milieu* du tibia précédé d'un pincement du tarse engendre l'autotomie 10 fois sur 50, au lieu de rester inactif (0 sur 50), la *base* du tibia pincée après le tarse, la produit 35 fois sur 50 au lieu de 15 et la pointe du fémur 44 fois sur 50 au lieu de 18. Cette même région, l'extrémité distale du fémur réagit au pincement 48 fois sur 50 après pincement du milieu du tibia et 50 fois sur 50 après pincement de la base du tibia chez les animaux qui sont restés insensibles à cette première excitation.

On obtient des résultats semblables en utilisant la brûlure, ou bien en

donnant la seconde excitation à une autre patte. D'autre part, la seconde excitation est bien plus efficace à l'égard d'une région normalement insensible d'une patte quand la première a été appliquée avec succès à la région la plus sensible d'une autre patte (base du fémur). Lorsqu'en effet, la patte postérieure gauche vient d'être abandonnée à la suite d'un pincement à la base du fémur, la patte postérieure droite réagit immédiatement, à un pincement du tarse, du milieu du tibia, de la base du tibia, de l'extrémité du fémur ou de la base du fémur, dans les proportions suivantes : 23, 28, 20, 35 et 44 fois sur 50 au lieu de 0, 0, 15, 18 et 37 fois sur 50, respectivement, quand cette seconde excitation est appliquée directement au même endroit de cette patte.

L'électricité permet de compliquer le problème en variant en outre l'intensité de la stimulation. Il existe un optimum d'intensité qui correspond à la graduation 50 de l'échelle de mon appareil ; intensité 10,2 sur 50 ; intensité 50, 27 sur 50 ; intensité 100, 9 sur 50 pour une irritation de 5″ appliquée à la base du fémur. D'autre part, la base du fémur excitée par l'intensité 30 produit l'autotomie 9 fois sur 50. Mais si l'on fait cette opération après avoir irrité le tarse de la même patte avec l'I. 50 qui n'a engendré aucune réaction, la patte se détache instantanément 31 fois sur 50 au lieu de 9, alors qu'avec l'I. la meilleure on n'obtient la réaction que 27 fois.

Mais il y a mieux. Si l'on électrise pendant 5″ avec l'I. 50 l'extrémité de l'abdomen de sujets dont le tarse d'une patte postérieure est tenu par une pince, cette patte se détache dès qu'on applique l'I. 30 à la base du fémur chez les 50 sujets expérimentés au lieu de chez 9 sujets sur 50 ; chez 29 individus sur 50 au lieu de 4 si l'on utilise l'I. 20 et chez 31 au lieu de 2 avec l'I. 10. Et si même on emploie l'I. 10 au lieu de l'I. 50 à la première excitation, celle de l'extrémité de l'abdomen, cette même I. 10, appliquée immédiatement après à la base du fémur, provoque encore l'autotomie 13 fois sur 50. L'état d'irritabilité provoqué par cette excitation infime de l'abdomen est tel que la patte peut être abandonnée lorsqu'elle est saisie par la pince à électriser non traversée par le courant alors que son inefficacité a été sérieusement contrôlée.

L'irritation préalable de l'abdomen accroît en outre considérablement la sensibilité de régions peu sensibles de la patte. L'intensité 10, à peu près inefficace à l'égard du milieu du tibia, provoque la chute du membre 31 fois sur 50 après une seule stimulation de l'abdomen.

Avec la brûlure, le phénomène se produit de façon beaucoup plus élégante encore. Si l'on brûle avec un mince fil de fer porté au rouge l'extrémité du tarse de la patte postérieure gauche de 50 Phasmes tenus par le milieu du tibia de cette patte, l'autotomie s'obtient 5 fois ; et si l'on brûle l'extrémité de l'abdomen de 50 autres sujets tenus par le tarse de la même patte, elle se produit 7 fois. Mais si après avoir brûlé l'abdomen de 50 individus tenus par le tibia de cette patte et qui n'ont pas abandonné l'appendice au cours de cette opération, on applique le fer rouge au tarse de celui-ci, la réaction se trouve immédiatement déclenchée 38 fois.

Enfin, l'application d'un liquide corrosif sur la tête rend le pincement du milieu du tibia efficace dans les proportions suivantes : 10 sur 10 avec l'acide acétique ; 8 sur 10 avec l'acide formique ; 8 sur 10 avec l'ammoniaque ; 10 sur 10 avec la créosote ; 7 sur 10 avec la térébenthine.

Le réflexe de l'autotomie invariable dans sa forme peut donc avoir une origine très différente et, dans les conditions expérimentales qui viennent de lui être imposées, il paraît relever de processus mentaux d'association élémentaires. Il semble pourtant qu'il soit téméraire de parler de mémoire associative à propos d'une réaction qui ne peut pas se renouveler puisque la patte, en tombant après la première excitation, détruit l'appareil sensoriel et moteur nécessaire à ce renouvellement. Toutefois, la partie essentielle du système nerveux subsiste toujours ; l'organe sensoriel également quand la première excitation est appliquée ailleurs qu'à une patte ; l'appareil moteur lui-même, quand on s'adresse successivement à plusieurs pattes.

Il paraît imprudent malgré tout de parler de processus mentaux car l'efficacité de la mémoire est à peu près nulle en ce sens que les deux excitations doivent se suivre immédiatement.

Dans l'expérience consistant à brûler l'abdomen puis le tarse, avec un intervalle de 1 à 2 secondes, on obtient 38 fois l'autotomie sur 50 ; avec un intervalle de 15″, 31 fois ; avec un intervalle de 30″, 17 fois, avec un intervalle de 1′, 6 fois seulement.

L'oubli, s'il y a oubli, est extrêmement rapide.

Enfin, et ceci est extrêmement intéressant, les ganglions cérébroïdes sont complètement étrangers aux phénomènes obtenus. Sur cinquante sujets dont je viens de couper la tête et que je vais saisir par le milieu du tibia de la patte postérieure gauche, 7 autotomisent au moment où je les saisis par cette région normalement insensible de la patte, 7 autotomisent quand je brûle l'abdomen, 36 ne réagissent pas à ces deux excitations, mais parmi eux, 34 se sectionnent la patte dès que j'en brûle le tarse. La réaction est donc meilleure qu'avec des sujets normaux.

Si, au lieu de couper la tête, j'écarte toute la partie antérieure du corps y compris la première paire de pattes, la même expérience provoque 45 fois l'autotomie sur 50. Si, enfin, je coupe la bête en deux, entre les pattes intermédiaires et les pattes postérieures, et si je renouvelle l'expérience sur les pattes postérieures, j'obtiens encore l'autotomie 28 fois sur 50 par la brûlure du tarse après la brûlure de l'abdomen.

Peut-on donc faire intervenir la mémoire associative dans un phénomène auquel les ganglions cérébroïdes sont étrangers? A mon avis, cela ne fait point de doute parce que, tout d'abord, la mémoire associative existe chez les Unicellulaires et les Polypes, et, ensuite, pour une autre raison beaucoup plus importante. Le psychologue ne peut concevoir l'existence d'états de conscience isolés primordialement du contenu de la conscience individuelle, tout état de conscience, si simple soit-il, exprimant toujours l'établissement d'un rapport, d'une relation entre le passé et le présent ou constituant éventuellement un chaînon nouveau pour l'avenir. De même,

le biologiste qui étudie la psychologie animale et se trouve obligé de rejeter le problème de la conscience au delà des frontières de la science expérimentale ne peut admettre l'existence de comportements élémentaires isolés de l'activité générale de l'organisme considéré comme une unité biologique.

Tout réflexe, ou réaction fatale de la machine plus ou moins parfaite au moment où elle nous paraît commencer à vivre parce que nous l'arrêtons pour la regarder fonctionner en oubliant qu'elle a un passé et qu'elle reprendra son activité quand nous cesserons de nous intéresser à elle, tout réflexe, dis-je, est toujours en principe plus compliqué qu'il ne le sera dans la suite, lorsqu'il se sera renouvelé un certain nombre de fois. Ses potentialités se réduisent ; certains excitants, efficaces tout d'abord, cessent de l'être au profit de quelques autres, certains organes sensoriels perdent leurs aptitudes, tandis que celles-ci se précisent ou s'exaspèrent chez d'autres ; les voies nerveuses primitivement confuses se spécialisent. La réaction se reproduit identique en apparence, elle se modifie plus ou moins profondément ou bien elle ne se renouvelle plus, en vertu de processus élémentaires d'association.

Si l'intelligence peut se définir au sens le plus large par la mémoire associative, par le pouvoir de se souvenir et d'associer des irritations actuelles avec des états d'irritabilité résultant d'excitations éprouvées dans le passé, il existe chez tous les animaux une intelligence purement physiologique, propriété vitale fondamentale qui suffit à expliquer le réflexe, l'instinct et l'intelligence proprement dite, ce qu'il y a de mystérieux, en un mot, et d'encore inexplicable aujourd'hui dans la physiologie du comportement, en attendant que les expérimentateurs parviennent à assujettir ces phénomènes à la physicochimie de la matière vivante, comme ils y sont arrivés pour la physiologie des organes.

A PROPOS DE L'ÉTHOLOGIE DES MOLLUSQUES

(Quelques données numériques)

par Paul PELSENEER

I. — Lorsqu'on veut réunir une documentation un peu complète sur l'éthologie des Mollusques, on se heurte à deux obstacles :

1° Pour certains chapitres de cette éthologie, les observations font défaut ou sont extrêmement peu nombreuses ;

2° En outre, pour la plupart des chapitres, les observations manquent ordinairement de précision, en ce sens que, dans l'appréciation de dimensions, de masses, de diverses vitesses, d'intensités calorifique ou lumineuse, elles sont d'habitude exprimées en des termes tels que : grand, lourd, rapide fréquent, basse, faible, et encore assez grand, plutôt lourd, moins rapide, plus fréquent, moins basse, plus faible, ou leurs contraires.

Or, dans la majorité des phénomènes, des mesures numériques sont indispensables, pour permettre des comparaisons et des généralisations.

II. — Il faudrait, toutefois, beaucoup de temps et la possibilité d'observer, à l'état vivant, un très grand nombre d'espèces de tous les pays, pour donner un ensemble suffisant de mesures dans les divers ordres d'activités : métabolique, motrice, sensorielle et réflexe, protectrice, reproductrice, etc. Pour commencer, on se limitera ici à l'activité protectrice ou défensive et encore à deux aspects seulement de celle-ci : la formation d'une coquille et la fixation par un byssus.

Il faut noter que, vu les variations individuelles, les mensurations, bien que faites d'ailleurs avec soin, ne doivent pas être poussées jusqu'à de lointaines décimales ; ce n'est que lorsqu'il s'agit de très jeunes individus, d'organismes minimes, ou de très petits organes ou portions d'organes, que des mesures doivent être faites avec une précision portée assez loin.

I. *Coquille*

1. — Rapport pondéral de la coquille et du corps.

A. A l'état adulte :

1° Amphineures. — Ce rapport est exprimé par une fraction, où le

numérateur représente le poids de la coquille, et le dénominateur, celui du corps (« parties molles ») considéré comme unité. Il est ici toujours inférieur à l'unité ; exemples :

Chiton marginatus, $\frac{0,66}{1}$,

Chiton pellis serpentis, $\frac{0,62}{1}$.

Là où la coquille est partiellement recouverte par le manteau, le rapport est encore plus petit ; exemple :

Cryptoconchus porosus, $\frac{0,42}{1}$.

2° Gastropodes. — *a*) A coquille externe ; rapport très généralement supérieur à l'unité, surtout dans les espèces marines intercotidales ; exemples :

Purpura lapillus, $\frac{5}{1}$;

Trochus umbilicalis, $\frac{4,5}{1}$;

Littorina obtusata, $\frac{3}{1}$;

Patella vulgata, $\frac{2,2}{1}$;

Lacuna pallidula, $\frac{1,25}{1}$;

Helix pomatia, $\frac{1,16}{1}$.

b) A coquille interne (comme dans *Lamellaria*, *Philine*, *Pleurobranchus*, etc.) ; rapport inférieur à l'unité ; exemple :

Lamellaria perspicua, $\frac{0,2}{1}$.

3° Lamellibranches. — Rapport généralement supérieur à l'unité ; exemples :

Anodonta cygnea, $\frac{1,25}{1}$

Tapes decussatus, $\frac{1,25}{1}$

Pecten varius, $\frac{1,62}{1}$

Mytilus edulis, $\frac{2,4}{1}$

Tridacna sp. et certains *Ostrea* $\frac{10}{1}$ et davantage.

B. Suivant l'âge :

Il a été examiné des individus de taille de plus en plus grande, dans chacun des groupes : Gastropodes, Lamellibranches, Céphalopodes ; exemples :

Espèce	Corps	Coquille	Rapport
Helix aspersa	1 gr.	0,25 gr.	$\frac{0,25}{1}$
	3,35 gr.	1 gr.	$\frac{0,3}{1}$
	5 gr.	2,5 gr.	$\frac{0,5}{1}$
Mytilus edulis	0,875 gr.	1,25 gr.	$\frac{1,42}{1}$
	1,9 gr.	4,6 gr.	$\frac{2,4}{1}$
	2,5 gr.	7,5 gr.	$\frac{3}{1}$
Sepia officinalis	242 gr.	11,4 gr.	$\frac{0,0471}{1}$
	447 gr.	22,5 gr.	$\frac{0,0507}{1}$

Alors que chez *Helix*, le poids du corps a passé de 1 à 5, celui de la coquille a *décuplé* ; d'autre part, chez *Mytilus*, alors que le poids du corps s'est accru de 1 à 2,74, celui de la coquille a *sextuplé* ; enfin, dans *Sepia* (coquille interne), pendant que le poids du corps augmentait de 1 à 1,85, celui de la coquille a passé à très peu près de 1 à 2. C'est-à-dire que dans les divers groupes, le poids relatif de la coquille augmente avec l'âge ; chez les formes à coquille externe, la croissance en poids de la coquille est deux fois plus rapide que celle du corps.

2. — Résistance à l'écrasement.

Les mesures ont été faites sur des coquilles adultes, vides et sèches. L'expérience a montré toutefois que la résistance est plus grande encore pour des coquilles fraîches, surtout lorsqu'elles renferment l'animal.

1° Gastropodes marins à coquille enveloppant tout le corps, à l'exception de la face ventrale, appliquée sur le substratum :

a) *Patella vulgata* adulte, d'une épaisseur au sommet de près de 3,5 mm. : écrasé seulement par 315 kilogrammes, soit près de 18,500 fois le poids du corps (moyenne de 2,2 gr.). La forme haute (rapport de la

hauteur à la longueur : $\frac{37}{44}$) montre, à longueur égale, une résistance plus grande que la forme basse (rapport : $\frac{34}{57}$), ce qui pouvait être prévu ; c'est là, d'ailleurs, la forme le plus longtemps émergée à chaque marée, et conséquemment le plus exposée.

b) *Purpura lapillus* adulte, d'une épaisseur de 1 mm. : n'est écrasé que par un poids de plus de 80 kilos, soit 50.000 fois le poids de l'animal (1,6 gr. en moyenne).

2° Lamellibranches :

Tapes pullaster, d'une épaisseur d'environ 1 mm. : écrasé par 100 kilogrammes, soit encore près de 50,000 fois le poids du corps (environ 2,6 gr.). Chez *Mytilus edulis*, où le corps pèse environ 2 gr., le résultat est sensiblement pareil.

II. *Byssus*

1. — Poids relatif du byssus et du corps.

Ce rapport (numérateur : byssus ; dénominateur : corps) est toujours (et souvent très fortement) inférieur à l'unité ; exemples :

Arca imbricata	$\frac{1}{1,75}$
Perna isognomon	$\frac{1}{1,826}$
Tridacna elongata	$\frac{1}{4}$
Meleagrina margaritifera	$\frac{1}{7}$
Mytilus edulis	$\frac{1}{30}$

(pour la forme océanique normale, intercotidale ; pour la forme toujours immergée, ou *galloprovincialis*, le rapport est $\frac{1}{48}$).

2. — Résistance à l'arrachement.

On sait qu'il faut un effort souvent considérable pour arracher le byssus, d'abord au substratum auquel il est attaché, puis surtout, à l'animal qui l'a sécrété. On doit noter, en effet, que les « racines » du byssus sont maintenues entre les plissements de l'appareil byssogène et que des faisceaux musculaires nombreux resserrent encore ces plissements autour des fibres byssales. La racine du byssus est ainsi retenue, dans la cavité plissée de l'organe byssogène, par la contraction de ces muscles qui l'entourent ; en outre, les muscles adducteurs aident à combattre l'arrachement du byssus hors de sa cavité, en serrant les deux valves l'une contre l'autre autour du tronc de byssus qui passe entre elles.

Afin de déterminer la force nécessaire pour arracher le byssus hors de l'animal, des essais ont été faits sur *Mytilus edulis*. Pour cela, ont été employés des exemplaires de 4 cm. de long, fraîchement retirés de leur gisement ; ils ont été suspendus, face ventrale en bas, à une fourche métallique formée par un arc dont les deux branches prolongées parallèlement, reviennent sur elles-mêmes autour de la coquille, antérieurement et postérieurement, de part et d'autre du byssus. Un solide fil de soie, fortement attaché au byssus, dans la partie la plus étroite de celui-ci, porte les poids utilisés pour exercer l'effort nécessaire à l'arrachement.

L'expérience a montré que de nombreux spécimens ont résisté pendant plus de trois minutes à un poids de 1850 grammes ; mais si, peu après, l'essai était recommencé, avec les mêmes sujets, la résistance ne durait plus qu'une minute, sous une charge de 1700 grammes. D'une façon générale, il faut donc un poids allant jusqu'à 900 fois celui de l'animal sans coquille (2 gr.), pour déterminer l'arrachement du byssus, au bout d'un temps d'une minute et demie en moyenne ; pendant ce temps, on voit la portion du tronc de byssus faisant saillie hors de la coquille devenir progressivement plus grande.

3. — Rapidité de la formation et de la reconstitution du byssus.

Il est assez difficile d'observer un jeune Lamellibranche byssifère quittant la vie larvaire libre et se fixant la première fois par un byssus. Mais il arrive souvent que des Lamellibranches plus âgés abandonnent spontanément leur byssus et, s'étant déplacés plus ou moins, se fixent par un byssus nouveau ; ils font de même si, après les avoir arrachés de leur substratum, on les abandonne dans leur milieu. On peut alors observer la formation du byssus et mesurer la rapidité du phénomène. Exemple, *Mytilus edulis* :

Le nombre des filaments ou fibres du byssus d'un Lamellibranche adulte peut dépasser la centaine (*Meleagrina margaritifera*, jusqu'à 550 ; *Mytilus edulis*, jusqu'à 150) ; la sécrétion de tous ces filaments et leur fixation successive par la partie antérieure, extensible, du pied, exige beaucoup de temps : le byssus n'est reconstitué qu'incomplètement en une nuit (et un même animal peut ainsi en refaire plusieurs, tour à tour, en une semaine) ; mais les premiers filaments sont sécrétés et fixés, chacun, en quelques minutes, cinq en moyenne (de 3 à 7), ce qui correspond à la vitesse observée dans quelques autres Lamellibranches : *Meleagrina* (Kelaart, 1857), *Pecten* (Charbonnier, 1866) ; la constitution du disque terminal d'attache de chaque filament demande une minute à peu près.

LES ACCROISSEMENTS PÉRIODIQUES DE LA COQUILLE D'ANODONTA CYGNEA

par A. DE WAELE,

Chef des travaux pratiques de Zoologie à l'Université de Gand.

Chez l'Anodonte, chaque valve du test présente extérieurement un grand nombre de lignes concentriques. Certaines, distantes de quelques millimètres, font nettement saillie sur la coquille et sont dès lors plus apparentes ; on admet que chacune correspond à un arrêt de croissance hivernal et on les appelle de ce fait *lignes hivernales ou annuelles*. Les zones intermédiaires, qui représentent l'accroissement du test entre deux hivers successifs, sont également recouvertes de rides concentriques, mais moins accentuées : ce sont les *lignes d'accroissement*. Outre ces formations ordinaires, certaines Anodontes présentent une anomalie qui se traduit par un écartement parfois très marqué entre deux ou plusieurs couches d'accroissement, donnant lieu à la formation de *coquilles partiellement doubles*.

J'ai fait de ces diverses formations une étude histologique, dans le but de trouver une explication de leur mode de production.

Les lignes hivernales. — La discordance entre les zones annuelles d'accroissement est notablement plus accentuée sur la moitié postérieure de la coquille et parfois aussi sur les parties marginales antérieures, en ce sens que leurs bords restent partiellement distincts et s'imbriquent en surplomb ; une coupe transversale à travers une valve prend là un contour en dent de scie (fig. 1). On observe que le périostracum PE s'incurve autour de la couche prismatique PR moins développée en cet endroit, et se poursuit en arrière par de nombreux replis R, pour se terminer entre les anciens prismes et une nouvelle production analogue PR′ ; cette dernière est portée par un lambeau du même périostracum qui retourne vers l'avant PE′. Cette disposition indique que l'impression de discontinuité produite par les lignes hivernales, en ces endroits des valves, n'est qu'apparente : les couches prismatiques des zones d'accroissement successives sont reliées par un périostracum continu.

La continuité du périostracum d'une part, l'empiètement de l'ancienne zone d'accroissement sur la nouvelle permettent d'expliquer la signification des lignes hivernales. Lorsque le froid commence à sévir, l'Anodonte s'enfonce presque entièrement dans la vase ; on voit le test se fermer en même temps que se rétractent les bords du manteau : la portion du périostracum, située entre le bord de la coquille et la fente marginale du manteau, est

constituée par une membrane molle et flexible, qui de ce fait suit les mouvements de rétraction de l'animal et s'incurve au bord extrême de la couche prismatique PR. A l'intérieur de la coquille, les faibles pérégrinations du manteau s'inscrivent dans le périostracum interne par une série de plissements R, qui se figent sur la partie interne des prismes et deviennent permanents, parce que la matière albuminoïde initiale dont ils sont formés se déshydrate et durcit, pour se transformer en une conchyoline d'aspect corné.

Pendant ce temps le ralentissement du métabolisme général retentit sur la formation de substance coquillière nouvelle : à peine se produit-il dans certains cas quelques calcosphérites et prismes incomplets C sur le

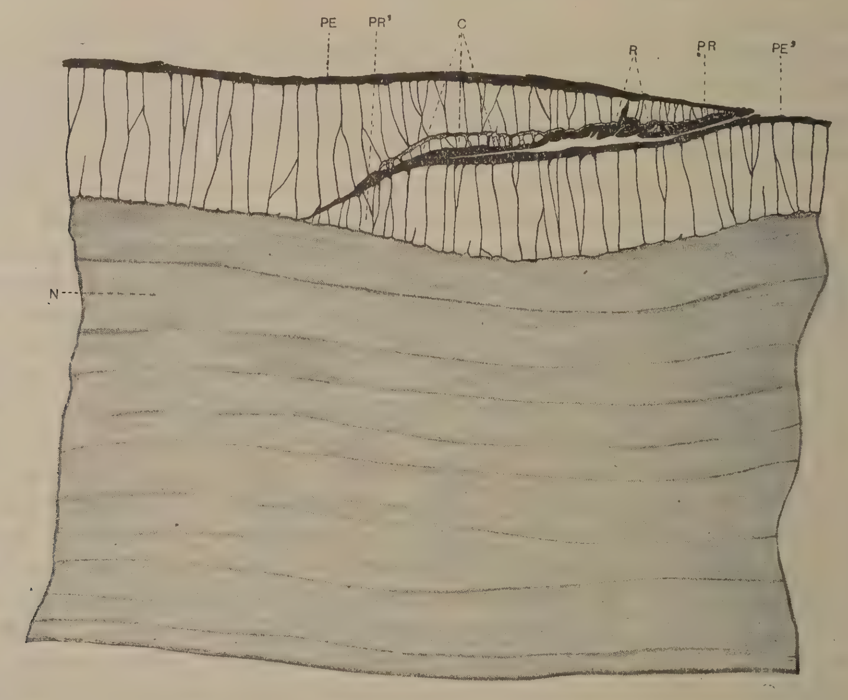


Fig. 1.

repli interne du périostracum. Ces productions peu intéressantes dans l'ordre d'idées que je considère, sont d'une importance plus grande au point de vue du mode de formation de la coquille ; la direction de leur axe, perpendiculaire au lambeau du périostracum interne, indique une croissance de l'intérieur vers l'extérieur. Or, la théorie sécrétoire veut que le mucus prismatogène soit sécrété par l'épithélium du feuillet conchylien du sillon marginal du manteau, et déposé sur le périostracum produit par ce sillon ; le dépôt de calcosphérites doit par conséquent toujours se faire en regard de l'épithélium sécréteur d'une part, et d'autre part leur superposition fournir des prismes dirigés vers l'intérieur. Les productions observées, inexplicables par la théorie sécrétoire, deviennent aisément compré-

hensibles par la théorie physico-chimique que j'ai développée dans un mémoire publié par l'Académie des sciences [1] : dans le liquide extra-palléal englobé entre la couche prismatique marginale et le lambeau interne de périostracum, la formation coquillière s'est poursuivie jusqu'à décomposition complète de la protéine carbonato-calcaire présente.

Au mois de février, quelle que soit la température, l'accroissement de la coquille reprend ; tandis qu'à l'intérieur du test sont déposées de minces couches de nacre, la formation de calcosphérites débute non pas au bord extrême de la coquille, mais plus en arrière, là où le bord marginal du manteau est retenu par l'ancien périostracum durci et figé sur la couche prismatique. La nouvelle couche du périostracum et de prismes sera par conséquent recouverte dans sa partie initiale par l'ancienne formation : c'est la superposition des trois minces couches de périostracum, alternant avec des cristallisations transparentes, qui donne aux bandes hivernales un aspect plus sombre.

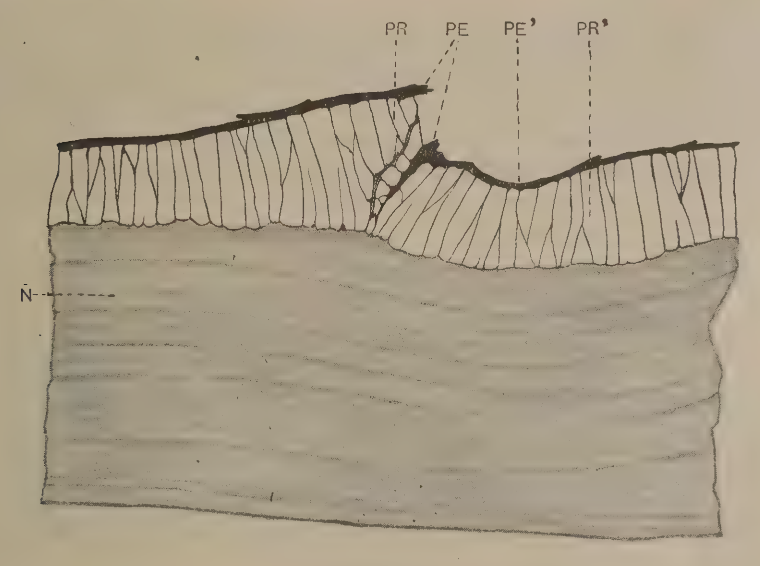


Fig. 2.

Sur la partie antérieure du test, exception faite pour quelques lignes marginales récentes, l'œil ne perçoit plus ces bandes, mais une simple ligne faiblement saillante ; une coupe pratiquée en cet endroit, présente d'ailleurs une tout autre allure (fig. 2) : il existe une discontinuité absolue entre les substances coquillières déposées pendant deux saisons successives. L'ancien périostracum PE présente un lambeau externe et interne, limitant une surélévation de prismes PR : l'ensemble constitue la ligne hivernale apparente ; d'autre part, le lambeau du périostracum PE', qui porte la nouvelle couche prismatique PR', n'est plus reliée à celui de l'année pré-

[1] De Waele, A., *Le sang d'Anodonta cygnea et la formation de la coquille.* (*Mémoires in-4° de l'Acad. roy. de Belg. Classe des Sciences*, t. X, 1930).

cédente. Cette disposition est différente des bandes précédemment décrites, par la disparition de la dent proéminente ; il faut supposer que l'usure ou l'arrachement de cette bande s'est produite par les déplacements de l'animal dans la vase, car elles ne persistent sur le test qu'aux endroits moins soumis à ces frottements, notamment sur la partie marginale peu ancienne, et sur la région postérieure qui émerge constamment de la boue.

Chaque ligne hivernale est donc primitivement représentée par une bande sombre, recouvrant partiellement la zone d'accroissement qui lui fait suite ; à ce stade elle est constituée par une dent proéminente de substance prismatique, dont le périostracum basal est relié sans interruption à la couche ultérieurement déposée. Au cours des années qui suivent sa formation, l'enlèvement de cette bande, surtout dans la région antérieure de la coquille, transforme la ligne hivernale en une simple crête ; la discontinuité entre deux zones successives observées sur des coupes pratiquées en ces endroits, est par conséquent secondaire et indépendante du mode de formation du test.

Les lignes d'accroissement. — Dans chaque zone comprise entre deux lignes hivernales successives, on compte cinq à douze stries concentriques, dont la saillie est plus ou moins grande ; l'examen de coupes transversales permet d'observer que ces lignes sont de deux espèces. Il en est qui présentent une disposition analogue à celle des anneaux annuels (fig. 3, I) ;

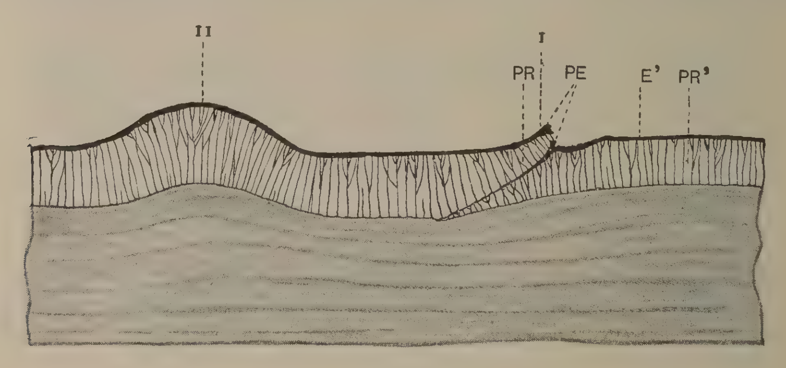


Fig. 3.

il est manifeste qu'elles furent constituées d'abord par l'imbrication d'une couche prismatique sur la suivante, et que l'abrasion ultérieure de la partie surplombante a laissé une ligne saillante formée par une crête minuscule. Leur origine réside par conséquent dans des rétractions périodiques du manteau au cours de la formation de substance coquillière nouvelle. Le petit nombre de stries sur chaque zone d'accroissement prouve cependant que chaque rétraction de l'animal n'est pas inscrite d'une façon définitive sur le test : celles-là seules, dont la durée a été suffisamment longue pour permettre un durcissement en conchyoline du périostracum rétracté contre la partie interne de la couche prismatique PR, ont donné lieu à la formation d'une ligne permanente.

Les autres lignes d'accroissement (II) présentent une convexité plus accentuée et possèdent une structure différente : aucune discontinuité primaire ou secondaire ne s'observe ni dans le périostracum ni dans la couche prismatique. Cette disposition ne comporte pas la même explication que les stries précédemment décrites ; elle suppose au contraire que pendant un temps suffisant, une extension exagérée du bord mantellaire a refoulé vers l'extérieur les parties marginales du test : celles-ci, constituées de prismes incomplets non entièrement soudés encore, et de ce fait flexibles, ont cédé à la pression. La substance coquillière déposée pendant ce temps, a fixé les prismes dans leur position inclinée, et lorsque le manteau a repris sa situation normale, le bord du test présentait une saillie convexe et rigide. Alors que les lignes d'accroissement décrites antérieurement, sont l'expression d'un ralentissement sinon d'une courte interruption dans le dépôt de substance coquillière, les secondes représentent une formation constante et continue.

De cette étude, il résulte que la production de lignes d'accroissement aussi bien que d'anneaux annuels n'est pas le résultat d'une rupture dans la continuité du manteau avec le bord de la coquille. Cependant dans un travail récent ([2]), où les auteurs ont tort de généraliser certains cas particuliers, la production de lignes sur le test des Lamellibranches d'eau douce est attribuée à des déchirures du périostracum marginal ; d'autre part, les lignes hivernales présenteraient sur une section transversale, un nombre de replis de périostracum et de couches prismatiques très élevé, correspondant à autant de ruptures. On peut observer chez l'Anodonte, assez fréquemment, de semblables cas de discontinuité ; le résultat n'en est pas la formation d'une simple ride sur le test, mais la production de « coquilles doubles ».

Les coquilles doubles. — Une coupe transversale à travers les valves en ces endroits, montre plusieurs rebords libres, formant entre eux un certain angle (fig. 4, I, II et III) ; ils sont constitués de prismes PR et de nacre N, ou de prismes seuls, suivant que le dépôt de substances coquillière a repris plus ou moins en arrière du point d'interruption. On observe dans certains cas favorables que le périostracum PE, qui recouvre la face externe du test, a été brisé près du bord marginal B de la couche prismatique : le dépôt coquillier s'est ensuite continué entre le manteau rétracté et une ligne projetée au point D sur la surface interne du test. Ces productions sont fréquentes sur la partie postérieure de la coquille ; parfois cependant elles couvrent toute une valve et peuvent alors donner l'impression d'une ligne hivernale plus apparente que les autres. Néanmoins, il serait inexact de leur attribuer cette signification, car plusieurs recouvrements se succèdent souvent sur une même zone d'accroissement.

([2]) Coker, R. E., Shirà, A. F., Clark, H. W., Howard, A. D., *Natural history and propagation of fresh-water mussels.* (*Bull. of the Unit. States Bureau of fisheries*, **37**, 131-132 (1919-1920).

D'après de Villepoix ([3]), le phénomène trouverait son origine dans la rupture de la tranche des valves ou même seulement du périostracum par les morsures de rats ou de loutres, très friandes d'Anodontes ; cependant la raison qu'invoque l'auteur est insuffisante pour expliquer la symétrie des recouvrements et leur extension sur tout le périmètre de la coquille, depuis le sommet antérieur jusqu'au corselet. Je crois que la cause est d'ordre plus général et réside dans le milieu même où vit l'animal ; une

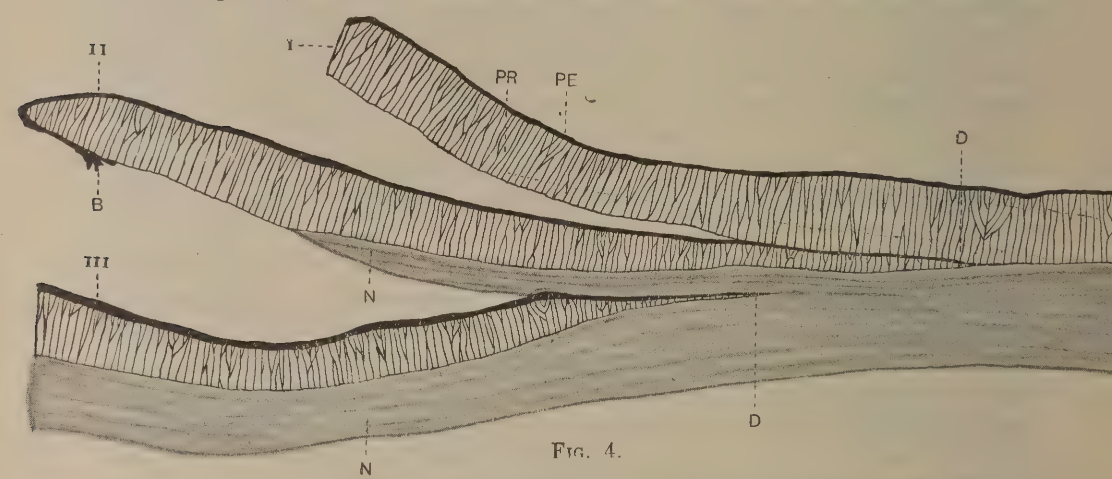


Fig. 4.

variation rapide dans la composition de l'eau ambiante, par l'afflux de substances étrangères, a pu produire une rétraction brusque du manteau, amenant la rupture du périostracum marginal.

D'autre part, d'après le même auteur, l'insertion oblique de la nouvelle couche de prismes sur la valve à laquelle elle se soude, serait déterminée par la présence de matières étrangères accumulées à sa base. Il est vrai que dans l'angle formé par les couches successives, on trouve souvent des matières terreuses ; mais leur introduction dans cette fente peut aussi avoir eu lieu après le doublement du test, dans la vase où plonge l'animal. D'autre part, la considération des conditions anormales du dépôt coquillier après la rupture du périostracum marginal, permet d'expliquer le phénomène d'une façon plus naturelle et d'ailleurs plus logique : le périostracum nouveau est, en effet, rattaché au test sur une ligne située en regard du bord rétracté du manteau ; l'extension de ce dernier après la disparition des causes inhibitrices, produit sur cet amas une traction qui lui donne la forme d'une membrane plane et de ce fait distante des valves convexes ; le dépôt concomitant de substance calcaire fixe le périostracum dans cette position.

De ces constatations, il résulte que la structure et la naissance des coquilles doubles est différente de la construction et de la formation des anneaux annuels et des lignes d'accroissement.

([3]) De Villepoix-Moynier, *Recherches sur la formation et l'accroissement de la coquille des Mollusques* (*Journ. de l'Anat. et de la Physiol.*, **28**, 645 (1892).

LA RÉGÉNÉRATION CHEZ LES CLAVELINIDAE LEURS RAPPORTS AVEC LES DIAZONIDAE

par Paul BRIEN,

Professeur à l'Université de Bruxelles

Les *Clavelinidae* peuvent être considérées comme étant primitives parmi les Tuniciers. Elles répondent en effet à la forme typique des Ascidies, forme dont les autres familles de ce groupe dériveraient.

Les *Clavelinidae* comprennent plusieurs genres [*Clavelina* (Sav), *Dendroclavella* (Oka), *Podoclavella* (Herdm.), *Synclavella* (Caull.), *Stereoclavella* (Herdm.), *Chondrostachys* (M Don.)...] dont les différences portent plutôt sur des caractères extérieurs. Nos connaissances embryologiques, anatomiques et biologiques de la famille des *Clavelinidae* sont basées surtout sur l'étude de *Clavelina lepadiformis*, l'espèce la plus répandue. Cependant le mode de bourgeonnement de cette espèce si commune, est resté longtemps incompris. On sait que les bourgeons naissent sur les stolons s'irradiant du postabdomen et fixés au support. On avait cru que l'ébauche blastogénétique du stolon était le septum stolonial lequel était supposé être d'origine *péricardique* (Seeliger) ou d'origine *épicardique* (Van Beneden et Julin). J'ai pu montrer que le septum stolonial de *Clavelina lepadiformis* est au contraire mésenchymateux. En outre et par la même occasion, je signalais que les bourgeons apparaissent dans des fragments du stolon, fragments généralement dilatés, lobulés, bourrés de réserves et appelés pour cette raison « *chambres bourgeonnantes* », c'est-à-dire que les blastozoïdes n'ont aucun rapport physiologique direct avec l'individu souche. Enfin et c'est là le point essentiel, je découvrais que l'ébauche blastogénétique initiale est constituée par un massif de cellules indifférenciées, mésenchymateuses et de lymphocytes, capables de se grouper aux points d'engorgement sanguin, soit à l'extrémité du stolon, soit dans un des lobes des chambres bourgeonnantes dont nous venons de parler. *Le bourgeonnement de* Clavelina lepadiformis *est donc mésoblastique, statoblastique* (Brien, mars 1926, 1927). Peu après et d'une façon indépendante Mario Salfi (1926-1927) et Spek (1927) arrivaient aux mêmes conclusions. Mais dans l'élaboration de l'ébauche blastogénétique, Spek attribuait un rôle primordial non aux lymphocytes, mais à des cellules sanguines dont le cytoplasme renferme une ou plusieurs inclusions de composés protéiques colorables sur le vivant par le rouge neutre.

En février dernier, j'ai repris, à la station zoologique de Naples, l'étude

des éléments régénérateurs des bourgeons de *Clavelina lepadiformis*. Par la méthode sélective du rouge neutre, par des observations journalières, j'ai pu suivre les lymphocytes dans la formation de l'ébauche régénératrice, en les distinguant toujours des cellules à inclusions que Spek a décrites.

Je confirme donc mes premières observations : les lymphocytes, cellules indifférenciées du sang, représentent des éléments régénérateurs du bourgeon. *Ils sont chez* Clavelina lepadiformis, *comme dans la plupart des animaux, les réserves embryonnaires aux potentialités multiples, lesquelles se manifestent lors de la régénération physiologique ou de la reproduction asexuée.*

Les cellules à inclusion de Spek sont au contraire des cellules nourricières. Spek y avait déterminé la présence d'éléments protéiques. Le lugol par contre, montre sur le matériel vivant les réactions du glycogène.

Ces inclusions seraient de nature glycoprotéique comme celles décrites par Castro et Pourbaix [1] dans les gemmules d'éponges. Dans la régénération, comme dans l'ontogénèse, *les premières phases du développement organogénétique se réaliseraient grâce à des réserves glycogénétiques.*

En plus du bourgeonnement de ses stolons, *Clavelina lepadiformis* présente d'autres possibilités régénératrices. C'est Driesch qui les a révélées depuis longtemps par des expériences classiques. Si l'on sectionne une Claveline en quatre segments : thoracique, œsophagien, stomacal, postabdominal, chacun de ces segments régénère un organisme entier. Ils sont équipotents. J'ai repris l'étude histologique de ces expériences, étude dont Driesch n'avait pas voulu se préoccuper. Or, si ces segments ont le même pouvoir de régénération totale, ils le réalisent aux dépens d'éléments différents. Dans le thorax, l'élément régénérateur est surtout représenté par l'endoderme pharyngien. Dans les portions œsophagienne et stomacale, c'est l'épicarde qui joue le premier rôle, aidé toutefois par les fragments de l'anse digestive ; c'est-à-dire que la régénération y est épicardique ou plus exactement entéroépicardique. Dans le postabdomen, la régénération est et ne peut être que mésenchymateuse ou plus exactement mésoblastique. Dans les quatre cas, la régénération aboutit à la formation d'ascidiozoïdes identiques. *L'organogénèse dans la régénération est donc indépendante de l'origine ou de la nature des éléments régénérateurs ; elle est fonction des corrélations qui s'établissent entre ces derniers.* Le mécanisme de ces corrélations dont il faudrait poursuivre l'analyse est le mécanisme même de la physiologie de l'organogénèse.

Une seconde conclusion se dégage de cette expérience.

La *Clavelina lepadiformis*, lorsqu'elle bourgeonne, ne manifeste qu'une partie de ses potentialités régénératrices. Mais les potentialités

[1] Voir le présent volume : *Présence du glycogène dans les organismes en régénération.*

latentes que l'expérience précédente vient de révéler, apparaissent au contraire, naturellement, dans des groupes de Tuniciers issus des Clavelinidae par voie phylogénétique et s'extériorisent selon les modifications structurales qu'entraîne l'évolution même. C'est ainsi que parmi les *Aplousobranchiata*, les *Polycitoridae* et les *Polylinidae* qui ne diffèrent des *Clavelinidae* que par le développement considérable de l'épicarde, présentent un *bourgeonnement épicardique*. D'autre part, on observe un *bourgeonnement entéroépicardique* chez des formes voisines, les *Didemnidae* et un *Polyclinidae* aberrant l'*Aplidium zostericola* (Brien 1925). Dans l'autre phylum de l'évolution des *Clavelinidae*, (les *Phlebobranchiata*), *les Diazonidae* montrent aussi une régénération entéro-épicardique.

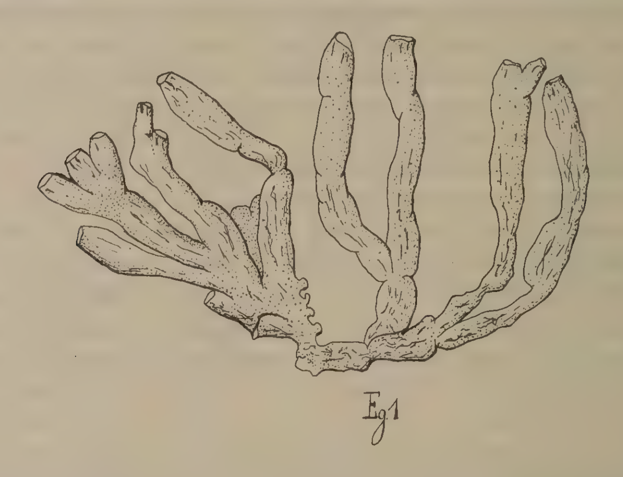
Les *Diazonidae (Diazona*, *Rhopalopsis*, *Rhopalea)* très affines entre elles et nettement *Phlebobranchiata* par la présence dans la branchie de sinus longitudinaux, n'en sont pas moins très voisines des *Clavelinidae*. Comme ces dernières, les *Diazonidae* ont le corps divisé en trois segments ; le thorax, l'abdomen relié au thorax par la région rétrécie de l'œsophage, le postabdomen stolonial. De plus, les *Diazonidae* possèdent un épicarde identique à celui des *Clavelinidae* ; enfin *Diazona* et *Rhopalopsis* sont sociales ; seules les *Rhopalea* sont parmi les *Diazonidae*, des ascidies solitaires. Mais toutes présentent la régénération abdominale entéroépicardique dont il était question plus haut. A l'approche de l'hiver, ces Ascidies perdent le thorax ; l'abdomen subsiste dans la portion basilaire de la tunique et après une vie latente hivernale, régénère au printemps un nouvel ascidiozoïde aux dépens de l'épicarde et des fragments de l'anse digestive de l'année précédente.

Les Diazona, il est vrai, strobilisent l'abdomen ; chaque strobile, comme chaque fragment abdominal de Claveline, donne un nouvel organisme ; c'est là le mode de bourgeonnement et le mode d'accroissement de la colonie de Diazona ainsi que l'ont montré CAULLERY et Mario SALFI. Il en est probablement ainsi chez les *Rhopalopsis* (Salfi). Les *Rhopalea* ne bourgeonnent pas ; elles régénèrent seulement le thorax.

Il en résulte que les *Diazonidae* qui incontestablement dérivent des *Clavelinidae*, présentent, naturellement, une des propriétés régénératrices virtuelles de ces dernières. Une preuve nouvelle nous en est donnée par la *Clavelida phlegrea* que Salfi a décrite récemment.

Clavelina phlegrea a été découverte dans le lac Fusaro de la baie de Naples. On la trouve aussi dans la lagune de Mare morto de la même région. L'eau de ces lagunes a une salinité variable, inférieure à celle de la mer en hiver, légèrement sursalée en été. Cette espèce n'y est pas visible en hiver sous sa forme typique. Par contre, en février, j'ai découvert parmi les touffes abondantes d'une variété très grande de *Clavelina lepadiformis* en période de reproduction sexuée, des masses de petits rhizomes de tunique cellulosique, irrégulièrement rameux, accolés les uns aux autres et solidement incrustés aux pierres des rives, plus grêles, opaques, d'une teinte

brun chocolat dans le lac Fusaro, (fig. 1), plus massifs, plus grands, en forme de massue et généralement translucides dans le lac de Mare morto (fig. 3). Ces rhizomes présentent généralement à l'extrémité libre une surface de section très nette qui est l'indice d'une amputation et par où l'on distingue des masses jaunâtres incluses dans la tunique. Si l'on fait une



Fg 1

section longitudinale dans ce rhizome, on trouve dans une tunique très homogène, résistante et tout à fait transparente, des faisceaux irréguliers de stolons ramifiés le long desquels, s'égrènent des dilatations lobulées. Cette structure rappelle exactement celle de la région stoloniale de *Clavelina Phlegrea* selon la description de Salfi. Ces rhizomes représentent donc *l'état d'hibernation de* Clavelina phlegrea.

Clavelina phlegrea ne diffère de *Clavelina lepadiformis*, selon Salfi que par le fait que les ascidiozoïdes de la première espèce ont leurs régions abdominales et stoloniales réunies dans une tunique commune basilaire. D'après l'aspect des rhizomes hivernants, on se rend compte cependant, que ces ascidozoïdes sont plutôt groupés en petites coenobies, correspondant chacune à un des rhizomes stoloniaux. De ces derniers, émergent les portions antérieures des ascidiozoïdes c'est-à-dire le thorax et une partie de l'œsophage, enveloppées chacune d'une tunique propre mince et souple. Ce sont ces portions libres qui, étant moins bien protégées, se désagrègent et tombent à l'approche de l'hiver, tandis que l'abdomen basilaire, enrobé dans l'épaisse tunique stoloniale, résiste pendant la mauvaise saison. On les reconnaît aisément dans une section longitudinale des rhizomes hivernants (fig. 2, 6). En février ces abdomens sont déjà en voie de régénération (fig. 2) ; un thorax se reconstitue aux dépens de l'épicarde tandis que l'anse digestive de l'individu de l'année précédente est réemployée par le nouvel organisme. Au point où le thorax se forme, la tunique s'épaissit en dôme, elle bourgeonne dans la surface de section produite par l'autotomie hivernale.

Il s'agit donc bien *d'une régénération abdominale entéroépicardique exactement comme chez les Diazonidae.* Dans l'un et l'autre cas d'ailleurs

les mêmes conditions éthologiques se trouvent réalisées : l'abdomen et le postabdomen sont protégés dans une tunique commune très résistante, et, seules, les parties libres, c'est-à-dire le thorax et la région antérieure de l'œsophage sont sensibles aux changements du milieu, se désagrègent et

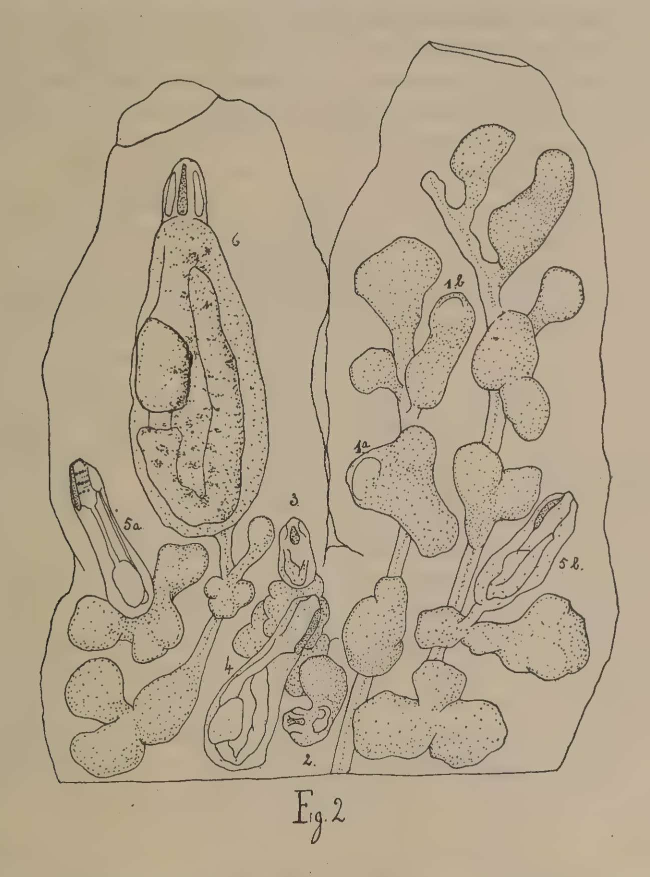


Fig. 2

tombent en hiver. Ainsi est réalisée naturellement l'expérience du sectionnement de l'abdomen de *C. lepadiformis*, et, naturellement aussi extériorisée la possibilité régénératrice abdominale latente chez *C. lepadiformis*. L'origine phylogénétique des *Diazonidae* à partir des *Clavelinidae* se trouve confirmée en même temps qu'est expliqué leur mode de régénération entéroépicardique abdominal.

Clavelina phlegrea n'en possède pas moins le bourgeonnement typique de *C. lepadiformis*, c'est-à-dire le bourgeonnement mésoblastique ainsi d'ailleurs que Salfi l'avait deviné.

On trouve en effet dans les stolons hivernants de *C. phlegrea*, de jeunes blastozoïdes encore enrobés dans la tunique stoloniale. On en rencontre à tout état de développement, depuis l'ébauche didermique formée d'une

vésicule endoblastique enveloppée par l'ectoderme d'un des lobes d'une des dilatations stoloniales, jusqu'aux blastozoïdes presque complètement constitués et prêts à sortir du rhizome (fig. 2, 1 *a*, 1 *b*, 2, 3, 4, 5 *a*, 5 *b*). Au printemps, on voit en effet surgir du rhizome non seulement les ascidiozoïdes régénérés aux dépens des abdomens de l'année précédente, mais aussi des blastozoïdes complètement nouveaux. Ils émergent, ces ascidiozoïdes, à la façon de jeunes pousses, formant un bouquet de thorax au sommet du rhizome et orientés vers la lumière (fig. 3). Ainsi la colonie non seulement renaît, mais s'accroît.


Fig. 3.

Il arrive que les blastozoïdes encore inclus dans la tunique stoloniale se groupent, se polarisent, formant de nouvelles cœnobies lesquelles se font jour latéralement, provoquant des bifurcations et des ramifications du stolon initial : les différentes phases de la formation de ces ramifications se voient sur les figures 1 et 3. Ces ramifications représentent approximativement le nombre de générations qui composent la colonie.

Ces blastozoïdes se constituent dans les dilatations stoloniales dont nous avons parlé plus haut et que nous pouvons considérer comme étant homologues des chambres bourgeonnantes de *Clavelina lepadiformis*. Les caractères histologiques du stolon sont identiques dans les deux cas. Il

faut noter toutefois que l'ectoderme des dilatations stoloniales n'est jamais deutoplasmique. L'ébauche blastogénétique y est formée comme chez *C. lepadiformis* par un massif de cellules indifférenciées, lymphocytaires. Ce massif mésenchymateux en s'accroissant, se creuse bientôt d'une cavité et constitue une vésicule endoblastique aux dépens de laquelle les organes du nouvel organisme s'édifient (1). Nous n'envisagerons pas ici les différents stades organogénétiques du bourgeon. Les indications précédentes suffisent, croyons-nous, à mettre en évidence l'*origine mésoblastique* de ce dernier comme cela a été démontré chez les *C. lepadiformis*. D'autre part, Salfi pense qu'il en serait de même chez les *Podoclavella* c'est-à-dire que nous pouvons peut-être généraliser et considérer le *bourgeonnement mésoblastique comme un caractère commun à toutes les Clavelinidae*. Mais parmi celles-ci, *Clavelina phlegrea* présente en plus les propriétés régénératrices d'une famille issue des *Clavelinidae, les Diazonidae*. Ainsi *l'évolution est double* ; *une évolution biologique correspond à une évolution morphologique, celle-ci conditionnant l'autre.*

Il en est ainsi toujours : une mutation n'est viable que pour autant que l'organisme modifie son comportement de façon à tirer le meilleur usage possible des nouvelles structures acquises. A l'évolution morphologique, irréversible, orthogénétique, correspond une évolution parallèle éthologique et biologique que l'étude des adaptations met si nettement en évidence. La famille des *Clavelinidae* nous montre en outre qu'une espèce, une famille ou même un groupe d'organismes est caractérisé non seulement par des caractères visibles mais aussi par des caractères virtuels, des potentialités latentes. Celles-ci représentent les possibilités évolutives de l'organisme considéré. Les changements du milieu, l'isolement géographique ou physiologique peuvent entraîner des modifications structurales. Celles-ci, même très légères, suffisent à déclancher l'apparition de certains de ces caractères latents et à assurer ainsi, l'évolution selon les étapes que prévoient les études d'anatomie comparative.

AUTEURS CITÉS :

BRIEN-GAVAGE, *Bourgeonnement de* Clavelina lepadiformis (Congrès de l'Association des Anatomistes [Liége, mars-avril, 1926]).

BRIEN-GAVAGE, *Contribution à l'étude de la blastogénèse des Tuniciers* (*Rec. zool. Torley-Rousseau*, **1**, 1 [1927]).

M. CAULLERY, *Bourgeonnement* de Diazona (*Bull. de la soc. zool. de France* [1914]).

Mario SALFI, *Le gemme estivanti e la biologia dei cespugli di* Clavelina lepadiformis (*Rend. Accad. Nazion. Lincei*, **4**, [1926]).

Mario SALFI, *Ricerche sulla biologia delle Ascidie del Golfo di Napoli* (*Ricerche morf. biol. anim.*, **1**, 2 [1927]).

Marío SALFI, *Sulla blastogenesi in Clavelina e su una nova specie del genere* (*Publ. Staz. Zool. Napoli*, **8** [1929]).

J. SPEK, *Uber die Winterknospentwickelung, Regeneration und Reduction bei Clavelina lepadiformis und die Bedeutung besonderer omnipotenter Zellemente für diese Vorgänge* (*Arch. Entwick. Mech.*, **3** [1927]).

(1) Les détails histologiques et les figures relatifs au bourgeonnement mésoblastique de *Cl. Phlégréa* paraîtront dans une prochaine publication.

FORMATION DES CAVITÉS PÉRIBRANCHIALES CHEZ LES POLYCLINIDAE [1]

(*Tuniciers, Aplousobranchiata* [*Lahille*])

par Nelly POURBAIX

Les célèbres travaux de KOWALEVSKY (1866-1871) ont montré que le développement des Tuniciers présente des analogies étroites avec celui de l'Amphioxus.

En dépit des particularités ontogénétiques qu'entraîne l'abondance du deutoplasme dans les œufs des Tuniciers, on peut dire que la segmentation et la gastrulation se poursuivent chez les Tuniciers et l'Amphioxus selon des processus essentiellement comparables.

Mais c'est surtout la présence d'une chorde et d'un tube neural dorsaux dans l'embryon et la larve des Tuniciers qui a permis le rapprochement phylogénétique de ces deux formes animales. Et si la constitution du mésoderme et du tube digestif, dans le cas des Tuniciers, offrent par contre des différences très nettes avec l'embryologie de l'Amphioxus, on a signalé des analogies évidentes entre l'appareil branchial des Amphioxus, des Ammocètes et des Tuniciers. A ce sujet, on a cru trouver un argument de plus à l'affinité phylogénétique de ces deux groupes dans le mode de formation des cavités péribranchiales. C'est ce qui explique l'intérêt particulier de ce chapitre de l'embryologie des Tuniciers.



On sait depuis KOWALEVSKY (1867) que chez l'Amphioxus, la cavité péribranchiale se constitue par deux sillons latéraux de l'ectoderme ventral, à la face interne des métapleures. Ces sillons, en s'invaginant de plus en plus entre la branchie et la peau, confluent en une cavité péribranchiale qui est donc d'origine ectodermique.

Or, KOWALEVSKY (1871) signalait également chez les Tuniciers (*Phallusia*) une origine ectodermique de la cavité péribranchiale. Celle-ci proviendrait de deux invaginations ectodermiques, latéro-dorsales et symétriques, qui en embrassant le pharynx, confluent dorsalement en un cloaque ouvert à l'extérieur par le siphon cloacal.

Cette opinion est devenue classique et fut admise et confirmée par la

[1] Travail fait aux Laboratoires de Zoologie de la Faculté des sciences, Université de Bruxelles, juin 1930, sur du matériel récolté au Laboratoire maritime de Roscoff, Université de Paris.

plupart des auteurs : par Willey (1894), Seeliger (1900) pour Ciona ; par Damas (1902) ; par SALENSKY (1892) chez les Diplosoma ; par CAULLERY (1894) chez les *Distaplia rosea*, les *Leptoclinidae*, et les *Polyclinidae*. Et, dans son *Amphioxus and the Ancestry of the Vertebrales*, Arthur WILLEY déclare qu'on ne peut voir une différence morphologique fondamentale dans le fait que les cavités péribranchiales ectodermiques proviennent d'une double intro-flexion ventrale médiane chez l'Amphioxus, tandis qu'elle se constitue aux dépens de deux invaginations de l'ectoderme latéro-dorsal chez les Tuniciers.

Cette origine ectodermique des cavités péribranchiales n'est pas reconnue cependant par tous les biologistes. Pour DELLA VALLE (1881) chez *Ascidia mentula*, le sac péribranchial serait entièrement endodermique, provenant d'extroflexions latérales de la paroi pharyngienne, extroflexions confluant dorsalement avec deux petites introflexions latéro-dorsales de l'ectodarme cloacal.

C'est PIZON qui a le plus insisté sur l'origine ondodermique des cavités péribranchiales. Chez les *Botryllidae* (1893), cet auteur décrit que, dans les larves encore jeunes, la vésicule endodermique primaire donnerait outre le diverticule cardiopéricardique, le tube neural dorsal, deux diverticules latéraux, ébauches des cavités péribranchiales. Ces diverticules se séparent du pharynx, confluent dorsalement en un cloaque ouvert à l'extérieur.

Les cavités péribranchiales seraient donc endodermiques. PIZON confirme cette hypothèse chez les *Polyclinidae* (1895). Mais les indications de PIZON, brèves, souvent imprécises, sans figures dans la note relative aux *Polyclinidae*, n'ont guère eu de crédit.

VAN BENEDEN JULIN (1886) ont émis une opinion intermédiaire aux deux hypothèses que nous venons de rappeler. Chez *Clavelina lepadiformis*, selon ces deux auteurs, les cavités péribranchiales seraient d'origine double provenant d'extroflexions latérales de l'endoderme, qui se séparant de ce dernier, vont ensuite confluer avec les invaginations ectodermiques latéro-dorsales, décrites par KOWALEVSKY. La cavité péribranchiale, selon ces auteurs, serait à la fois d'origine ectodermique et endodermique.

*
* *

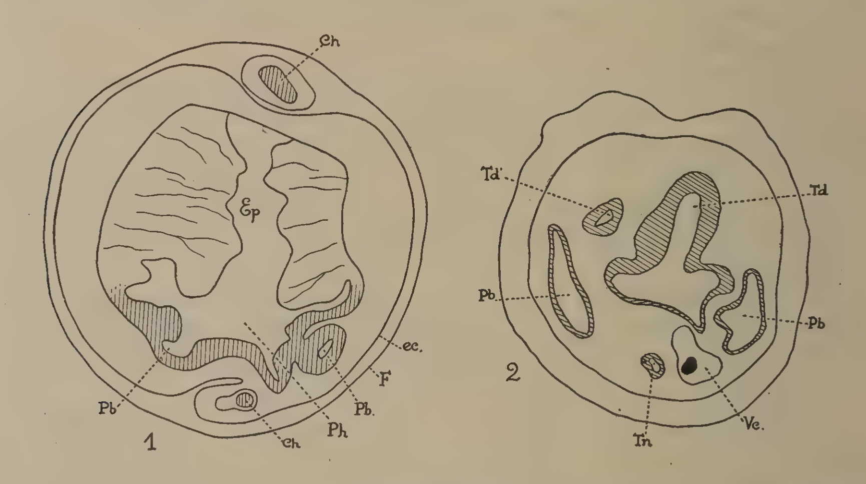
Au cours de recherches embryologique chez les *Polyclinidae (Fragarium elegans)*, nous avons eu l'occasion de suivre la formation des cavités péribranchiales aux dépens de l'endoblaste.

Elles apparaissent dans l'embryon encore inclus dans son enveloppe folliculeuse et retenu dans la poche incubatrice cloacale maternelle, à un stade très jeune où le tube neural montre les premières indications de la différenciation en une vésicule cérébrale larvaire ; la chorde y est déjà formée et s'enroule autour de l'embryon dans le plan sagittal ; le pharynx est en voie de différenciation, largement ouvert sur l'épicarde deutoplasmique ; il est limité latéralement et ventralement par un épithéliure

cubique de cellules à petites inclusions deutoplasmiques mais encore dépourvu d'endostyle.

C'est à ce stade que, sous la chorde et le tube neural, se forment les cavités péribranchiales par un plissement latéral de l'endoderme, de chaque côté de la future paroi endostylaire. C'est ce que montre la figure 1 schématisant une coupe transversale passant par la chorde au point où elle sort de l'embryon, le pharynx et les parois épicardodeutoplasmiques.

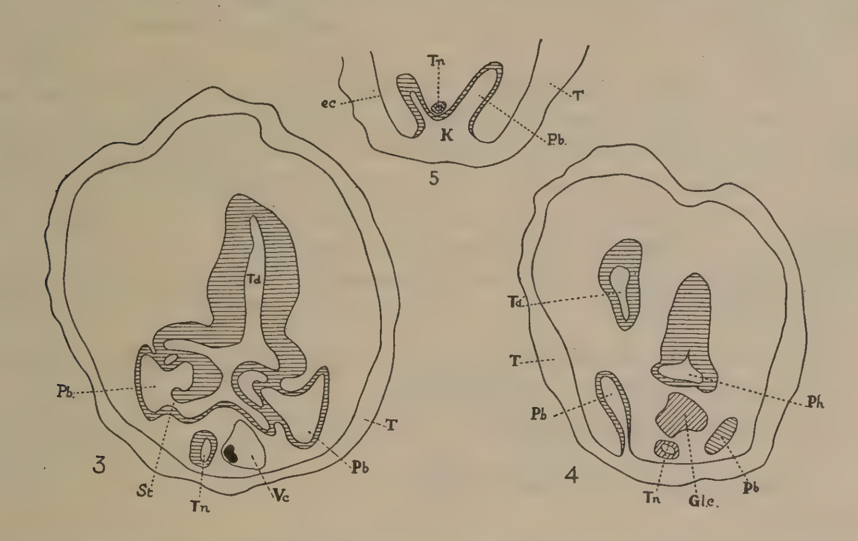
Les ébauches des cavités péribranchiales forment deux tubes latéraux communiquant encore par leur région postérieure avec l'endoblaste ainsi qu'on peut le voir du moins pour la cavité péribranchiale gauche de la figure 1. C'est donc par une sorte de processus entérocoelique que naissent les ébauches des cavités péribranchiales.



A un stade plus avancé où le système nerveux larvaire est complètement constitué, ainsi que nous le décrirons ultérieurement dans une prochaine publication, où le pharynx montre en avant de la masse épicardodeutoplasmique, une ébauche de l'anse digestive, où l'endostyle lui-même commence à se constituer, les tubes péribranchiaux s'accroissent, se dilatent dorso-ventralement, perdent tout rapport avec le pharynx, constituant deux sacs, clos de toute part entre l'ectoderme et les parois latérales du pharynx (fig. 2)).

Ultérieurement, ces saccules, tout en se dilatant corrélativement à l'accroissement de l'embryon, viennent s'appliquer contre les parois latérales du pharynx. Celles-ci se plissent légèrement vers l'intérieur pour loger dans leur concavité externe, les sacs péribranchiaux. Les feuillets internes de ceux-ci se soudent alors aux parois latérales du pharynx en des ponts cellulaires qui sont les premières ébauches des stigmates. Deux rangées de stigmates se sont ainsi constituées, mettant le pharynx en relation avec les cavités péribranchiales à un moment où celles-ci sont encore indépendantes et sans communications avec l'extérieur (fig. 3).

Pendant que les stigmates se multiplient, les cavités péribranchiales s'étirent postérieurement, et bientôt viennent s'ouvrir indépendamment à l'extérieur, à deux endroits latéro-dorsaux, symétriques par rapport au plan médio-sagittal de l'embryon (fig. 4). C'est ce stade, que l'on peut synthétiser par les figures 3 et 4, qui fut souvent décrit par les auteurs et particulièrement par CAULLERY (1894) chez les *Distaplia*, les *Leptoclinidae* et les *Polyclinidae*. Mais contrairement à ce que signale ce dernier



auteur, ces ouvertures ne s'oblitèrent pas. Elles s'ouvrent au contraire de plus en plus, se rapprochent, et comme le montre la figure 5, les deux tubes péribranchiaux postérieurs confluent en un cloaque tandis que les deux ouvertures se confondent en une seule : le siphon cloacal.

Donc les cavités péribranchiales sont endodermiques, nées par une sorte d'entérocoelie. Après s'être ouvertes à l'extérieur chacune par un orifice latéro-dorsal symétrique, elles confluent par leur région postérieure en un cloaque unique médio-dorsal.

*
* *

Nous arrivons à la conclusion que les cavités péribranchiales et le cloaque sont d'origine endodermique.

Nos observations confirment les indications de PIZON (1895) sur les *Amaroucium*. De plus, les deux tubes péribranchiaux dont nous avons décrit la formation par un processus comparable à l'entérocoelie, rappellent exactement les deux tubes hypoblastiques que VAN BENEDEN et JULIN ont vus et dessinés (1886, pl. IX, fig. 1) chez *Clavelina lepadiformis*.

On ne doit pas oublier non plus que KOWALEVSKY parle aussi de deux replis latéraux du pharynx venant confluer avec les deux invaginations ectodermiques latéro-dorsales. Or, si on examine les figures 34 et 38,

Kowalevsky, 1871), faites d'après des préparations *in toto*, on constate que ces replis sont très grands ; partant de la région antérieure, ils entourent la vésicule neurale, s'allongent le long du pharynx jusqu'à la région postérieure où ils se continuent par ce que KOWALEVSKY interprète comme étant les invaginations ectodermiques péribranchiales. KOWALEVSKY, n'ayant fait aucune coupe, n'a peut-être pas pu déterminer sur des préparations *in toto*, la valeur de ces replis latéraux du pharynx lesquels correspondent cependant aux tubes péribranchiaux endodermiques, ce que nous décrivions plus haut chez les *Polyclinidae* et ce que DELLA VALLE signalait chez les *Ascidies*.

CAULLERY admet l'origine ectodermique des cavités péribranchiales. Selon cet auteur, les ouvertures extérieures s'oblitèrent avant que les cavités ne confluent en un cloaque. Nous avons en effet décrit un stade où les cavités péribranchiales munies de stigmates sont cependant closes et indépendantes. Mais ce stade ne suit pas celui pendant lequel les cavités communiquent à l'extérieur, il le précède au contraire.

Et nous pouvons caractériser la formation des cavités péribranchiales en cinq stades :

1° Tubes péribranchiaux d'origine endodermique nés sous forme de deux diverticules latéraux, pharyngiens ;

2° Cavités péribranchiales indépendantes, closes, de toute part ;

3° Cavités péribranchiales indépendantes closes, mais avec stigmates branchiaux ;

4° Cavités péribranchiales indépendantes, avec stigmates branchiaux et communiquant avec l'extérieur par deux orifices latéro-dorsaux ;

5° Cavités péribranchiales avec stigmates, confluant postérieurement en un cloaque commun s'ouvrant à l'extérieur par un siphon cloacal médio-dorsal.

AUTEURS CITES :

Maurice Caullery, *Contributions à l'étude des Ascidies composées (Bull. Sc. France-Belgique,* **37** [1894]).

A. Della Valle, *Nuove contribuzioni alla storia naturale delle Ascidie composte lel Golfo di Napoli (Atti Accad. Lincei,* **3**, Mem. X [1881]).

Kowalevsky, *Entwicklungsgeschichte der einfachen Ascidien (Mém. Acad. Impér. les Sc. de Saint-Pétersbourg* [1866]).

Kowalevsky, *Entwicklungsgeschichte des Amphioxus lanceolatus (Mém. Acad. Impér. des Sc. de Saint-Pétersbourg,* **7**, vol. II [1867]).

Kowalevsky, *Weitere Studien über die Entwicklung der einfachen Ascidien (Arch. für Mikros. Anat.,* **7**, 2e [1871]).

Antoine Pizon, *Histoire de la Blastogénèse chez les Botryllidés (Ann. Sc. Nat. Zool.,* **14** [1893]).

Antoine Pizon, *Evolution du système nerveux et de l'organe vibratile chez les larves des Ascidies composées (Comptes rendus Acad. Sc.,* **120** [1895]).

W. Salensky, *Ueber die Tätigkeit der Kalymmocyten bei der Entwicklung der Ascidien (Festschrift für Leuckart, Leipzig* [1892]).

Van Beneden et Julin, *Recherches sur la morphologie des Tuniciers (Arch. de Biol.,* **6** [1886]).

EXPLICATION DES FIGURES

Coupes transversales d'embryons de Fragarium elegans, *schématisées. Toutes dessinées à la chambre claire et au même grossissement* (Zeiss 4 mm., oc. 2).

Fig. 1. — *Le plus jeune stade observé montrant le plissement de la paroi endoblastique en deux tubes péribranchiaux, celui de droite presque détaché.*

Fig. 2. — *Stade plus avancé montrant deux cavités péribranchiales grandes, indépendantes sans stigmates.*

Fig. 3. — *Stade plus avancé montrant les cavités péribranchiales indépendantes, closes, mais avec stigmates.*

Fig. 4. — *Le même stade, la portion postérieure de la cavité péribranchiale gauche s'ouvre à l'extérieur, la droite s'est ouverte dans une coupe précédente.*

Fig. 5. — *Réunion des deux orifices péribranchiaux en un seul : le siphon cloacal. Dans un stade un peu avancé, on observe outre la confluence des orifices, celle des tubes péribranchiaux en une cavité cloacale.*

Ch : chorde dorsale ;
ec : ectoderme ;
Ep : épicarde ;
F : enveloppe folliculeuse ;
Gl. c : ganglion caudal ;
K : cloaque ;
Pb : cavités péribranchiales ;
Ph : pharynx ;
St : stigmates ;
T : tunique ;
Td : tube digestif ;
Td' : 2e branche du tube digestif ;
Tn : tube neural ;
V. C. : vésicule cérébrale.

UN ASPECT DE L'HISTOIRE DES SCIENCES ZOOLOGIQUES EN BELGIQUE : L'ÉTUDE DES TUNICIERS

par Marc de SELYS LONGCHAMPS

Professeur à l'Université de Bruxelles

La faveur rencontrée auprès des zoologistes belges par l'étude des Tuniciers, est un fait singulier à première vue, car elle ne s'explique pas par des circonstances locales, notre littoral, généralement très pauvre, étant tout particulièrement démuni des représentants de ce groupe. La raison de cette faveur est en réalité traditionnelle : P.-J. Van Beneden ayant, en 1846, publié un premier mémoire sur les Ascidies simples, son fils Ed. Van Beneden devait, trente ans plus tard, reprendre la question dont il fit l'un des thèmes favoris des recherches proposées à ses élèves, si bien que la contribution apportée par les Belges à la connaissance des Tuniciers est, toutes proportions gardées, plus forte que pour aucun autre groupe zoologique, et l'élan donné par les Van Beneden dans cette direction retentit encore aujourd'hui.

En 1846, P.-J. Van Beneden donnait, dans le tome XX des *Mémoires de l'Académie*, ses « Recherches sur l'embryogénie, l'anatomie et la physiologie des Ascidies simples », l'occasion de cette recherche lui ayant été fournie par les séjours qu'il accoutumait de faire à Ostende, où il exploitait les ressources zoologiques d'un parc aux huîtres. Ce mémoire est accompagné d'un rapport rédigé par l'auteur lui-même, et qui a paru dans le tome XIII des *Bulletins de l'Académie*, rapport dans lequel se trouvent les plus amusantes digressions ; par exemple celle relativement à ce que l'auteur nomme « le mystère des mystères de la reproduction : je veux parler des Pucerons, qui se reproduisent pendant tout l'été sans le concours des mâles... Les Hydres aussi se reproduisent ainsi... N'est-ce pas le même phénomène chez les Pucerons, gemmipares pendant tout l'été ? » etc. Plus loin, toujours dans ce rapport, l'auteur parle de la *partie que l'on est convenu d'appeler zoologique*, « comme si toute la zoologie se réduisait à la distribution des espèces » ; distribution étant visiblement pris dans le sens de classification. L'auteur considère que les Tuniciers se lient très étroitement avec les Bryozoaires et les Acéphales. La place me manque pour analyser le mémoire, pourtant plein d'observations intéressantes, et dans lequel deux espèces nouvelles ont été décrites : *Molgula ampulloides et Styelopsis grossularia*, cette dernière importée des côtes anglaises sur les coquilles d'huître.

Dès 1875, un élève d'Ed. Van Beneden publiait une note dans les *Bulletin de l'Académie* (2e série, **39**) : « Recherches sur une annexe du tube digestif des Tuniciers », par Th. CHANDELON.

En 1881, devançant de peu la première publication de Van Beneden lui-même sur le sujet, Ch. JULIN, son élève et bientôt son collaborateur, donnait, dans le tome **2** des *Archives de Biologie*, deux études sur l'hypophyse des Ascidies simples. « Jusqu'à quel point cet organe est-il comparable à l'hypophyse ? Son organisation, sa structure, sa position, ses rapports permettent-ils ce rapprochement ? Telle est la question que M. Van Beneden m'a engagé à élucider. » La conclusion de ces études devait d'ailleurs être formulée par Van Beneden lui-même, qui s'exprime ainsi (*Bull. Acad. Roy. de Belgique*, 3e série, **1**, n° 6, juin 1881) : « ... des considérations d'ordre physiologique et d'ordre morphologique nous autorisent à considérer provisoirement cet organe comme ayant rempli primitivement chez les Chordés la fonction rénale. »

A peu près au même moment, dans une courte note du *Zoologischer Anzeiger* (1881, n° 88), Van Beneden, sous le titre de « Existe-t-il un Coelome chez les Ascidies ? » traçait tout le programme de ses études sur les Tuniciers, dont il publia la série en collaboration avec Julin, tandis que celui-ci devait, jusqu'en 1914, continuer seul l'étude du groupe qui lui fut cher entre tous.

Les travaux de VAN BENEDEN et JULIN : « La segmentation des Ascidiens », « Le système nerveux central des Ascidies adultes et ses rapports avec celui des larves urodèles » et « Le développement postembryonnaire d'une Phallusie » (*Archives de Biologie*, **5**, 1884) bientôt suivis de leur magistrale « Morphologie des Tuniciers » (id., **6**, 1886) firent réellement époque et constituent l'un des plus beaux fleurons de l'apport belge à la Zoologie. Mais, ici encore, je ne puis que citer !

Deux ans plus tard, un Français, Ch. MAURICE, élève de Van Beneden, publiait (*Archives de Biologie*, **7**, 1888) son « Etude monographique d'une espèce d'Ascidie composée (*Fragaroides aurantiacum*), qui est encore aujourd'hui un modèle inégalé du genre.

En 1896, H. DE WINIWARTER revient sur le sujet déjà traité par Chandelon vingt ans auparavant et il donne sa « Note sur la glande annexe du tube digestif ». (*Archives de Biologie*, **14**), simple hors-d'œuvre auquel succédèrent ses fameux travaux sur l'ovaire des Mammifères.

Enfin, deux élèves encore de Van Beneden, D. DAMAS et M. DE SELYS LONGCHAMPS soit seuls, soit en collaboration, à partir de 1899, publièrent à leur tour, toujours dans les *Archives de Biologie* (**16** à **21**) une série de travaux dont des Tuniciers divers furent l'objet.

Lors de sa mort prématurée, survenue en 1910, Ed. Van Beneden laissait un grand nombre de travaux inachevés, car, s'il avait conservé la passion de la recherche scientifique, sa curiosité satisfaite, il dédaignait de publier les résultats obtenus. L'étude des Tuniciers rapportés par la *Belgica* de son voyage dans l'Antarctique, bien qu'achevée, était sans texte, et c'est à l'auteur de ces lignes qu'échut le périlleux honneur d'en assurer

la rédaction. Cette étude fait l'objet d'un fascicule des Résultats de l'Expédition antarctique belge.

Si j'écris ce petit chapitre de notre histoire zoologique, c'est parce que j'y ai été mêlé, et l'on voudra donc bien excuser que j'exprime ici ma joie profonde de ce que mon distingué collègue M. P. Brien, qui fut mon élève il y a peu d'années, s'est, à mon instigation, lancé dans l'étude des Tuniciers, lesquels lui ont déjà fourni la matière de plusieurs mémoires importants, dont une partie a paru dans le *Recueil de l'Institut Zoologique Torley-Rousseau* (Université de Bruxelles). Quand j'aurai dit que M. Brien, à son tour, a déjà une élève qui travaille les Tuniciers, — Mlle Pourbaix, auteur d'une note à leur sujet dans le présent volume — on comprendra que je suis heureux d'avoir pu contribuer à assurer le maintien de cette tradition à laquelle j'ai fait allusion plus haut, tradition qui veut que les Tuniciers soient en faveur dans ce que l'on me permettra d'appeler le sillage des Van Beneden.

Il serait injuste de ne pas ajouter que les affinités des Tuniciers avec l'Amphioxus ont eu pour résultat de provoquer chez nous de beaux travaux sur cet étrange organisme : ceux de R. Legros, élève de Ch. Julin, et celui de feu P. Cerfontaine, l'Assistant de Van Beneden. Ces travaux, bien que situés un peu en marge des Tuniciers, ne pouvaient pas être oubliés ici.

Disons aussi que la presque totalité des recherches consacrées aux Tuniciers par nos compatriotes ont été basées sur des matériaux récoltés à l'étranger, et tout spécialement en France, aux laboratoires si accueillants pour nous de Wimereux et de Roscoff. Mais déjà Van Beneden et Julin étaient allés en Norvège d'une part, et à Naples de l'autre, pour en tirer de précieuses récoltes. Leurs successeurs y sont retournés depuis, ou bien ont visité d'autres rivages, tels que ceux de Banyuls ou de Villefranche, selon le but poursuivi.

Il y a lieu d'espérer, et j'ai de bonnes raisons de croire, que nos compatriotes apporteront encore d'importantes contributions à la connaissance des Tuniciers, groupe mis en vedette chez nous par les Van Beneden, et dont l'intérêt est encore loin d'être épuisé.

LE TÉLENCÉPHALE DE LA GRENOUILLE

Contribution à l'étude de l'évolution du prosencéphale des Vertébrés

par Louise VAN RYSSELBERGE

Introduction. — La plupart des centres cérébraux varient relativement peu au cours de l'évolution des Vertébrés, excepté le télencéphale qui, lui, se transforme continuellement. Les modifications qu'il subit ont leur traduction dans l'évolution psychologique de ces animaux et acquièrent, de ce fait, un grand intérêt. Elles consistent en ce que les divers centres d'association en rapport avec les organes sensoriels, envoient dans le télencéphale des voies ascendantes de plus en plus nombreuses, déterminant la différenciation, dans cet organe, de régions spécialisées.

Après une mise au point de tout ce que l'on connaît de la signification physiologique des diverses régions du télencéphale, j'ai essayé, par l'introduction d'une méthode expérimentale nouvelle, d'ajouter quelques éléments à l'ensemble des faits déjà connus.

Mise au point. — Les études de physiologie expérimentale ont démontré que le télencéphale de la Grenouille possède les fonctions suivantes :

1° Celles d'un centre d'association d'impressions tactiles nées au niveau du museau (Schrader) ;

2° Celles d'un centre régulateur du tonus, musculaire (Verworn) ;

D'autre part, les connexions du télencéphale avec ses organes périphériques démontrent que :

1° Il contient des centres olfactifs secondaires et tertiaires ;

2° Il est un centre d'association des impressions issues au niveau de la muqueuse de l'organe de Jacobson et des impressions gustatives issues de l'hypothalamus.

Toutes les notions que j'ai pu acquérir en étudiant le télencéphale de la Grenouille me permettent seulement de donner une valeur olfactive aux régions ventrale et latéro-dorsale. Nous ne savons rien des régions non soumises à l'olfaction. Nous n'avons aucune explication des déficiences constatées par Schrader et Virworn.

L'anatomie comparée, heureusement, nous permettant jusqu'à un certain point d'établir une série d'homologies entre les régions du cerveau de la Grenouille et celui des Mammifères, pourra nous fournir des indica-

tions sur la valeur physiologique des régions correspondantes du cerveau de la Grenouille. Après avoir envisagé les théories de Edinger, Kappers, Herrick, j'ai adopté les conclusions de Kiesewalter (1928) qui me permettent l'interprétation suivante :

1° Dans le cas d'une Grenouille aveugle, le réflexe de la capture des proies se fait au niveau du noyau parolfactif, noyau en relation avec les fibres du trijumeau et les voies descendantes olfactives ;

2° Le noyau amygdalien, en relation avec l'organe de Jacobson, associe les impressions gustatives venant de l'hypothalamus ;

3° Si nous faisons l'hypothèse que, chez la Grenouille, les noyaux correspondant au corps strié ont déjà les fonctions des noyaux du corps strié des Mammifères, nous localiserons dans les noyaux ventro-latéraux, les fonctions de régulation reconnues par la physiologie expérimentale.

La seule région du cerveau de la Grenouille sur laquelle nous n'avons aucune donnée physiologique est l'aire médico-dorsale de Kiesewalter.

Recherches nouvelles. — Les auteurs considèrent que ces centres de l'aire médio-dorsale servent à l'association d'impressions olfactives avec d'autres impressions dont la signification physiologique n'est pas analysée. Ces impressions sont amenées par des voies ascendantes non encore décelées. Mes recherches ont pour but de déterminer l'origine et la signification physiologique de ces voies. Deux méthodes m'étaient offertes :

1° L'étude anatomique des connexions des voies ascendantes et descendantes du télencéphale. Les méthodes histologiques utilisées par les neurologistes sur les Mammifères et l'Homme ne m'ont donné de résultats que dans la moelle allongée et le mésencéphale et non dans le télencéphale dont les fibres, non myélinisées, ne prennent pas les laques d'hématoxyline ni l'imprégnation à l'argent.

2° L'étude expérimentale par la méthode de dégénérescence de ces mêmes voies, méthode pratiquée avec peu de succès par Rôthig, la coloration de Marchi étant une coloration myélinique.

La méthode que nous avons utilisée repose sur l'observation de Monakow : le cerveau d'un homme dont le bras a été amputé dans l'enfance, présente une atrophie nettement délimitée correspondant à l'origine des voies pyramidales. Il en conclut que la suppression du nerf entraîne une dégénérescence du centre primaire concerné ainsi que des centres secondaires surimposés.

Dans le cas qui nous occupe, la méthode consistera à supprimer certains centres que l'on présume envoyer des voies ascendantes dans le télencéphale ou à interrompre les voies se rendant de ces centres au télencéphale.

Après différentes précautions préopératoires, je sectionne unilatéralement l'ensemble des voies allant du diencéphale au télencéphale. Une

plaque de mica est insinuée dans la plaie. Je recouds la victime et la conserve en vie pendant deux à trois mois. Après fixation au formol, le cerveau est coloré sur coupes par une nouvelle méthode de Morgan consistant en une coloration myélinique et une coloration cellulaire au rouge neutre.

Résultats. — Au premier examen des coupes, il apparaît que les diverses régions du télencéphale réagissent très différemment à la section de leurs voies ascendantes et descendantes. Deux régions disparaissent complètement, ce sont : le primordium hippocampi et le primordium pallii dorsalis. Ce dernier, d'après d'autres expériences, dégénérerait avant le primordium hippocampi et l'envahissement des leucocytes se produirait secondairement dans la région en dégénérescence. Les centres soumis à l'influence du système olfactif : septum, amygdale, pallacopallium restent intacts. Nous concluons que ces centres dégénérés sont soumis à l'influence des voies ascendantes et interviennent, comme leurs homologues chez les animaux supérieurs, dans les associations les plus élevées de la vie somatique. Deux objections sont à éliminer du fait que : 1° La dégénérescence n'est pas due à un traumatisme banal subi par le cerveau ; une série d'opérations de sections et de brûlures dans l'hypothalamus n'ont donné lieu à aucune dégénérescence. 2° Cette dégénérescence n'est pas due à un arrêt dans la circulation au niveau de ces régions comme le pensait Cajal. Au moment de l'autopsie, on voit, en effet, que la circulation a continué dans la méninge au niveau des régions dégénérées. De plus, la zone fibreuse, le reste du primordium hippocampi, contient des vaisseaux sanguins parfaitement constitués.

Conclusion. — Nous devons interpréter nos résultats comme suit. Le télencéphale de la Grenouille comprend :

1° Des centres dorsaux, soumis à l'influence morphogénétique des centres somatiques du diencéphale qui leur envoient leurs excitations ; ce sont : le primordium hippocampi et le primordium pallii dorsalis ;

2° Des centres ventraux et latéraux soumis à l'influence de la placode olfactive et qui, à côté d'autres fonctions, jouent un rôle dans l'élaboration des réflexes à composant olfactif ; ce sont : le septum, l'amygdale, le corps strié et le pallaéopallium.

Ces résultats sont provisoires. D'autres expériences seront faites pour vérifier ces phénomènes de dégénérescence secondaire, encore trop mal connus pour pouvoir être invoqués en toute certitude. Un résultat a été obtenu dans cette direction.

La section accidentelle des voies optiques mésencéphaliques a produit une dégénérescence presque totale dans la région latérale du tectum opticum, au niveau de la sixième couche de grains. Ce résultat et celui de

Dürken, qui remarqua l'absence de formation de régions importantes du tectum opticum après extirpation de l'ébauche des pattes chez la Grenouille jeune, sont une indication intéressante en faveur de l'idée que le tectum opticum serait, chez les Anoures, le centre d'association intervenant dans la capture des proies, cette capture étant liée essentiellement à l'activité optique et aux réactions des pattes postérieures.

Je désire remercier ici M. Jeener qui m'a dirigée dans mon travail et qui m'y a apporté une aide constante.

Sous-section d'Entomologie

Président : M. Schouteden.
Secrétaire : A. d'Orchymont.

Séance du 2 juillet, à 9 h. 30.

Président : M. H. Schouteden.
Secrétaire : M. A. d'Orchymont.

M. R. Mayné donne lecture de son mémoire sur le rapport entre l'extension des forêts de résineux et le développement des Scolytes.

Discussion. — M. Lameere fait remarquer qu'il serait intéressant de vérifier par l'examen des galeries creusées sous les écorces par les larves de Scolytes, les Frassbilder des auteurs allemands, si les espèces dont l'existence a été constatée à l'état adulte sont devenues réellement indigènes, c'est-à-dire si elles ont fait souche chez nous.

A une question posée dans cet ordre d'idées par M. d'Orchymont, l'auteur répond qu'il n'a tenu compte pour son exposé que des Scolytes trouvés en soulevant les écorces, à l'exclusion de ceux qui auraient pu être capturés au vol ou simplement trouvés posés sur les arbres ou aux environs.

M. H. Schouteden donne un aperçu de l'Entomologie africaine.

M. A. d'Orchymont expose une phase de l'étude des Coléoptères, les Palpicornes et lit une relation de son tout récent voyage dans le Sud de la Péninsule des Balkans. Il donne un résumé de cette dernière communication.

La séance est levée à 11 heures.

DU RAPPORT ENTRE L'EXTENSION DES FORÊTS DE RÉSINEUX ET LE DÉVELOPPEMENT DES SCOLYTES

par Raymond MAYNÉ,

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux

On a observé au cours de ces dernières années, depuis 1924, l'introduction de nombreuses espèces nouvelles de Scolytides dans notre pays. Le fait est d'autant plus curieux que, depuis 1897, date de l'invasion du *Dendroctonus micans* Kug., nul scolyte nouveau n'avait été découvert.

Ces apparitions de scolytes nouveaux semblent démontrer d'une façon classique qu'une relation existe entre l'accroissement de certaines de nos espèces végétales et celles des espèces de la faune correspondante.

Il serait évidemment naïf de croire que chaque découverte d'un scolyte nouveau correspond à son acclimatation récente. C'est ainsi que le *Pityogenes chalcographus* L. existait certes depuis longtemps sur les jeunes rameaux des épicéas de haute Ardenne avant que nous ne l'ayons capturé en 1924. Néanmoins, cette installation chez nous d'aussi nombreux scolytes étrangers, coïncidant avec le développement des espèces résineuses dans notre pays incite à formuler certaines remarques.

En effet, sur dix espèces nouvelles de Scolytides signalées en Belgique depuis 1924, les résineux en groupent huit pour eux seuls, laissant deux espèces seulement aux essences feuillues (*Scolytus pygmaeus* F. et *Trypodendron signatus* F.).

Or, tandis que le développement des essences feuillues est resté stationnaire, l'accroissement constant des essences résineuses motive l'accroissement correspondant de la faune entomologique.

Envisagés au point de vue entomologique, nous pouvons classer nos résineux dans trois catégories :

Le groupe des *Pinus* ;

Le groupe des *Epicéa* ;

Le groupe des *Abies* (sapins).

Le groupe des *Pinus* est représenté en Belgique principalement par le Pin sylvestre auquel est venu s'adjoindre une faible proportion de Pins maritimes, de Pins noirs d'Autriche et de quelques autres espèces exotiques. Le Pin sylvestre est ancien, son étendue cultivée est importante ; elle était déjà en 1880, de 89.000 hectares ; en 1910, de 127.000 hectares ; elle atteint en 1930, 200.000 hectares environ.

L'ancienneté de sa culture et l'importance de la superficie boisée sont deux raisons primordiales pour que cette essence groupe à peu près tous les représentants de la faune correspondante, il s'ensuit que de nouvelles espèces de Scolytides sont rares sur cette essence.

Par opposition, l'épicéa est un nouveau venu chez nous, nous ne l'avons vu apparaître dans nos forêts que depuis une centaine d'années. En 1880, il occupe 29.000 hectares environ, puis 42.000 hectares en 1910, enfin 60.000 hectares approximativement en 1930, accusant un développement nouveau et rapide. La maturité forestière de l'épicéa n'est atteinte qu'au bout de quarante ou cinquante ans et c'est sur lui, nouveau venu, que nous aurons à enregistrer cet accord entre l'accroissement d'une espèce végétale et le développement de la faune correspondante.

Quant à l'*Abies pectinata* (sapin pectiné), ses boisements ne comprennent que dix à vingt hectares de peuplements purs, ou bien ce sapin n'est cultivé qu'en mélange avec le hêtre ou l'épicéa.

Il en résulte l'absence totale de scolytes propres à cette essence. Les seuls scolytes rencontrés sont :

Trypodendron lineatus Oliv.
Xyleborus Saxeseni Ratz.

espèces communes à tous les résineux.

Scolytides du groupe des Pinus

Dix-sept espèces de Scolytes vivent en Belgique sur le Pin sylvestre ; parmi celles-ci deux espèces peuvent se rencontrer occasionnellement sur l'épicéa. Ce sont :

Tomicus laricis F.
Tomicus suturalis Gylh.

et deux espèces sont communes aux pins, épicéas et aux sapins :

Trypodendron lineatus Oliv.
Xyleborus Saxeseni Ratz.

Il reste donc treize espèces propres au pin sylvestre :

Tribu des Hylésiniens :

Myelophilus piniperda L ;
Myelophilus minor Hartig ;
Hylurgus ligniperda F. ;
Hylastes ater Payk. ;
Hylastes linearis Er. — Faun. Spec. nov. 1924. Saint-Gilles (Bruxèlles) Lamy ;
Hylastes attenuatus Er. ;
Hylastes angustatus Herbst ;
Hylastes opacus Er.

Tribu des Tomiciens :

Pityophtorus ramulorum Perris ;
Pityogenes bidentatus Herbst ;

Tomicus sexdentatus Boerner ;
Tomicus acuminatus Gylh. (syn. *T. geminatus* Zett). — Faun. spec. nov., Brée, VI, 1928.
Tomicus proximus Eichh. — Faun. spec. nov., Bertrix. VI, 1925 ; Bullange, VI, 19.

Cette liste constitue à peu de chose près l'ensemble des Scolytides susceptibles de vivre sur le pin dans nos régions. Nous ne trouvons en effet que cinq espèces de l'Allemagne occidentale capables de s'incorporer encore à notre faune et parmi celles-ci deux espèces communes aux pins et aux Epicéas :

Tomicus curvidens Germ. ;
Carphoborus minimus F. ;
Pityophtorus Lichtensteini Ratz. ;
Crypturgus cinereus Herbst (sur pin et épicea) ;
Pityophtorus micrographus L.

Nous remarquons que sur ces dix-sept espèces de Scolytides, trois seulement sont nouvelles pour la faune belge :

Hylastes linearis Er. ;
Tomicus proximus Eichh ;
Tomicus acuminatus Gylh.

La multiplication de ces trois espèces nouvelles semble extrêmement restreinte ; deux ou trois spécimens ont pu être capturés. Cette rareté fait que leur découverte n'a pas changé en somme la physionomie de la faune du pin sylvestre qui paraît avoir acquis son aspect définitif.

Scolytides du groupe des Epicéas

Il n'en est pas de même pour la faune de l'épicéa. Les espèces propres à ce résineux et nouvellement introduites se sont rapidement multipliées et leurs foyers de pullulation paraissent s'étendre sur l'ensemble des peuplements.

Il existe actuellement douze espèces de Scolytides sur l'épicéa parmi lesquelles cinq ont été plus ou moins récemment découvertes :

Tribu des Hylésiniens :

* *Dendroctonus micans* Kug. — Introduit en 1897 [1] ;
* *Hylastes palliatus* Gylh ;
* *Hylastes cunicularius* Er. ;
* *Polygraphus pubescens* F. — Faun. spec. nov. Bois de la Cambre, III, 1926 ;
Crypturgus pusillus Gylh. ;
Phthorophloeus spinulosus Rey. — Rare, dans l'Ardenne.

Tribu des Tomiciens :

* *Cryphalus abietis* Ratz ;
* *Tomicus amitinus* Eichh (Faun. spec. nov. Bullange, VI, 1925 ; Baraque Fraiture, IV, 1925 ; actuellement assez commun dans la haute Ardenne).
Dryocoetes autographus Ratz (Faun. spec. nov. Losheimergraben, VI, 1924 ; Bul-

(1) Les espèces capables de vivre sur les pins sont marquées d'un astérisque.

lange, VI, 1924 ; Bertrix, VI, 1925 ; Eupen, VI, 1925 ; actuellement assez commun dans la haute Ardenne).

Pityogenes chalcographus L (Faun. spec. nov. Manderfeld, VI, 1924 ; actuellement commun dans toute l'Ardenne).

Trypodendron lineatus Oliv.

Xyleborus Saxeseni Ratz.

Les deux dernières espèces sont communes à tous les résineux et six autres espèces sont capables de vivre sur les *Pinus* quoique cependant les épicéas soient préférés. Il subsiste donc dans cette liste quatre espèces absolument propres à l'épicéa :

Phthorophloeus spinulosus Rey ;
Tomicus amitinus Eichh ;
Dryocoetes autographus Ratz ;
Pityogenes chalcographus L.

La première (*Ph. spinulosus* Rey) est très rare dans l'Ardenne ; quant aux trois autres, elles ont été reconnues pour la première fois en 1924 et en 1925. Or, ces espèces se sont depuis lors abondamment multipliées et sont rapidement devenues communes sur l'Epicéa, modifiant ainsi considérablement l'aspect de la faune belge de cet arbre.

A mesure que s'étendront encore les boisements d'épicéas, d'autres scolytes seront susceptibles d'être introduits modifiant encore l'état actuel de cette faune, surtout le *Tomicus typographus* L. des provinces rhénanes et de Westphalie ainsi que les espèces suivantes :

Tomicus cembrae Heer ;
Tomicus curvidens Germ. ;
Pityogenes quadridens Hartig ;
Hylastes glabratus Zett. (syn. H. *decumanus* Er.) ;
Kissophagus pilosus Ratz ;
Crypturgus cinereus Herbst ;
Pityophtorus micrographus L.

Tous ces scolytes propres à l'Epicéa qui sont passés de l'Europe centrale, patrie de cette essence, vers les provinces rhénanes progressent actuellement vers l'ouest où l'épicéa a été implanté sur de grandes surfaces et a acquis la maturité nécessaire montrant ainsi un exemple de la loi d'attraction des essences végétales sur les espèces animales correspondantes.

UNE PHASE DE L'ÉTUDE DES COLÉOPTÈRES. — LES PALPICORNES

par A. d'ORCHYMONT.

Si l'on se demande pourquoi l'étude de ces coléoptères est encore de nos jours si négligée on en trouvera aisément plusieurs raisons. Il y a d'abord le peu d'attrait que présentent ces insectes peu éclatants, leur ordinaire petite taille (1), le plan uniforme d'après lequel les principaux types — pas très nombreux d'ailleurs — sont constitués, la difficulté de leur recherche en des lieux souvent malsains ou peu praticables et le peu d'enthousiasme que par conséquent ils provoquent chez le chasseur et chez l'amateur. Il y a ensuite la grande dispersion de la littérature consacrée aux quelque 1.600 espèces cataloguées, sans compter les très nombreuses synonymies réelles ou à vérifier encore, le peu de précision et l'incomplet des anciennes descriptions, l'inaccessibilité de beaucoup de types et le fait qu'aucune monographie générale n'a pu encore être rédigée. D'autre part, il s'agit d'animaux n'ayant guère d'importance économique, car ce n'est que tout récemment que quelques auteurs, notamment Petherbridge (2) et Rodionov (3) ont accordé une attention plus soutenue à des dégâts assez sérieux occasionnés à certaines cultures par deux Hélophores exceptionnellement terrestres.

Cependant cet abandon, dans lequel le groupe se trouve, eût été déjà à lui seul un stimulant pour faire de ces insectes le sujet d'études suivies, si, au surplus, on ne s'était souvenu de la circonstance que, précisément, ce sont les formes aquatiques, les torrenticoles surtout, qui ont le moins souffert de l'influence de l'homme dans l'incessante transformation que celui-ci apporte à la surface de notre planète. Mieux que les groupes franchement terrestres ces formes aquatiques nous donnent une image plus fidèle de la composition des anciennes faunes, avant qu'un élément de perturbation aussi désastreux, pour le sort des espèces animales et végétales en général, que celui signalé ci-dessus, n'ait pu prendre l'ampleur que nous lui constatons aujourd'hui. C'est pour ces motifs réunis, écoutant d'ailleurs des conseils donnés, il y a déjà pas mal d'années, dans un article publié par Preudhomme de Borre (4), que j'ai résolument entrepris l'étude, quelquefois ingrate, d'un groupe réputé difficile.

(1) Exception faite pour quelques formes, les grands *Hydrous* notamment.
(2) *Annals of applied Biology*, Cambridge, **15**, 659-678 (1928).
(3) *Défense des Plantes*, Leningrad, **4**, 951-954 (1928).
(4) *Annales Société Entomologique de Belgique*, **33**, X (1889).

Pour être efficace, une pareille étude doit embrasser toutes les formes vivant encore de nos jours sur le globe entier et non seulement la faune restreinte d'une contrée déterminée. Car si l'on envisage le petit nombre de formes fossiles qui nous ont été conservées — et encore dans quel état! — par contre le grand nombre de celles qui certainement ne sont pas arrivées jusqu'à nous, on se rendra compte que celles qui sont encore accessibles à nos observations ne sont pas de trop pour nous permettre de nous faire une opinion quelque peu approchée de leur phylogénie et de leur systématique. En outre, les Coléoptères étant des insectes holométaboliques, dont l'état d'imago n'est que l'aboutissement éphémère de tout un cycle vital, il va de soi que l'ontogénèse complète doit être comprise dans le cadre de la recherche.

Un essai louable de tirer parti des documents existant déjà dans cette dernière direction, fut entrepris par GANGLBAUER dans son traité classique [5], mais les premiers états de plusieurs genres importants n'étant pas ou insuffisamment connus à cette époque, les conclusions ne pouvaient en être que provisoires. Ce fut donc une étape importante dans l'avancement de nos connaissances que la découverte des larves de *Limnebius* et d'*Hydraena*, la revision critique des caractères du genre *Ochthebius* [6]. Ces études établirent que malgré les caractères génériques si nettement distinctifs des adultes, ces trois larves appartenaient à un seul type, vraiment campodéiforme, très primitif et tellement uniforme qu'il était peu aisé de les distinguer, si ce n'est en faisant usage de très minuscules détails morphologiques, notamment la position sur le neuvième urite des procerques biarticulés ou la nature du revêtement pileux du corps. Elles montrèrent ensuite que ces trois larves se distinguaient de celle des autres sous-familles — sauf une, les Sperchéines — par une morphologie céphalique et buccale primitive dans toutes ses particularités. Je crois avoir réussi à démontrer [7] que cette morphologie céphalique doit, dans sa mise en valeur phylogénique et systématique, primer sur la morphologie abdominale. Chez les larves des Hélophores, la tête et aussi les organes buccaux sont manifestement spécialisés et adaptés à des conditions de milieu nouvelles et si leur respiration est holopneustique et leur abdomen composé d'au moins neuf urites non transformés, comme c'est d'ailleurs aussi le cas chez les larves des trois genres auxquels il a été fait allusion d'abord, la circonstance de posséder des procerques encore triarticulés, ne peut en aucune façon justifier à elle seule la proposition de GANGLBAUER de les considérer comme phylogéniquement les plus importants. Les Hélophores adultes sont d'ailleurs plus éloignés aussi de la souche hypothétique du groupement. La classification a dû subir de ce fait un remaniement important, les Hydrénines

[5] *Die Käfer Mitteleuropa's*, **4**, 150 et suivants (1904).

[6] A. D'ORCHYMONT, *Annales de Biologie lacustre*, **6**, 173-214 (1913) et *Annales Société Entomologique de Belgique*, **59**, 84 (1919); RICHMOND, *Bulletin American Museum of Nat. Hist.*, **13**, 1-94 (1920).

[7] *Annales Société Entomologique de France*, **85**, 103 et 106 (1916).

étant maintenant placées en tête et immédiatement après eux les Limnébiines, dont on avait méconnu l'importance en n'envisageant que bien superficiellement les caractères offerts par les adultes. Ces Hydrénines comprennent d'ailleurs une forme chilienne éminemment archaïque, *Hydraenida*, pourvue non seulement de la paire d'ocelles frontaux primitive, mais, détail important, d'antennes composées encore de onze articles, alors qu'ailleurs et par réduction, ce nombre est tombé à neuf ou même moins. En outre, la place que le groupe entier doit occuper maintenant dans l'ordre des Coléoptères s'est précisée. La tendance actuelle de le placer bien en avant dans la série des Polyphages est pleinement justifiée. Les remaniements que j'ai proposés ont été acceptés par Richmond (8). La classification que j'ai préconisée (9) a servi de base à la rédaction du catalogue Knisch (10).

En ces derniers temps, la mise en valeur des caractères offerts par les génitalia des mâles a pu apporter un nouveau perfectionnement dans les méthodes de la recherche (11).

L'expérience a démontré que dans bien des cas — notamment chez les *Hydraena*, *Ochthebius*, *Limnebius*, *Hydrophilus*, *Neohydrophilus*, etc., — cette étude était capable de livrer non seulement de bons caractères génériques, mais aussi de mieux délimiter les unités spécifiques. Chez les *Hydraena* notamment, que déjà, en 1889, Preudhomme de Borre recommandait aux chercheurs comme si intéressantes, cette morphologie spéciale s'est avérée éminemment qualifiée par sa grande spécialisation, pour résoudre des questions de systématique subgénérique et spécifique. Plusieurs espèces indubitablement distinctes ont été reconnues avoir été confondues sous d'anciens noms, même chez nous en Belgique.

Un autre point de vue de la recherche est la distribution géographique des représentants du groupe et l'étude de la bionomie et des biotopes. Il n'a encore été fait que peu de chose à ce dernier point de vue, même la liste complète des espèces calcicoles, silicicoles, halophiles, halobiontes, etc., est encore à dresser. Des études dans le genre de celles que Hase (12) a faites avec succès pour *Ochthebius quadricollis* aux Baléares devraient être multipliées, aussi pour les espèces de notre pays. Quant à la distribution géographique des genres et des espèces elle mériterait d'être approfondie, d'autant plus que sa connaissance est capable d'aider à la résolution de

(8) *Loc. cit.*

(9) *Loc. cit.*, 91-106 ; *Bulletin*, *235-240* (1916). — Voir aussi *Catalogue of Indian Insects*, *Palpicornia*, **14** (1928).

(10) *Coleopterorum Catalogus*, **79**, (1924).

(11) Un exemple en montrera la portée pratique. Le musée de Copenhague me soumet trois *ex-typis* de l'*Hydrophilus ellipticus* décrit par Fabricius de Guinée. A l'examen, il est reconnu que deux de ces exemplaires, un couple, appartiennent réellement à cette espèce. Mais le troisième, un *Neohydrophilus*, présente sur la tête, le pronotum et les élytres une microsculpture insolite entièrement étrangère aux formes africaines connues. Comme il s'agit d'un mâle la dissection de cet exemplaire, cependant âgé de plus de cent ans, s'impose : la comparaison de l'édéage établit qu'on se trouve en présence d'une espèce américaine, le *N. phalicus*.

(12) *Revue der Ges. Hydrobiol. und Hydrographie*, **16**, 142-179 (1926).

maint problème géologique. HOLDHAUS ([13]) et SAINTE-CLAIRE DEVILLE ([14]) s'en sont occupés incidemment, le premier à propos de l'hypothétique Tyrrhénide ; le second au point de vue spécial du peuplement de la Corse. J'ai moi-même, dans un travail actuellement à l'impression, obtenu des résultats analogues aux leurs, quoique moins affirmatifs, en revisant la série des *Hydraena* des îles de la Méditerranée occidentale ([15]). En outre dans une note consacrée aux *Neohydrophilus* ([16]), j'ai insisté sur la distribution remarquable de ce genre à travers ce qui reste de l'ancien continent hypothétique australo-brésilien (Terre de Gondwana, Atlantis).

Enfin la paléontologie du groupe n'a pu livrer jusqu'ici que peu de données utilisables pour la phylogénie et la systématique. Un fossile assez caractéristique parce que appartenant probablement à la série qui nous occupe, est le *Pseudohydrophilus avitus* du Jurassique supérieur ; il possède déjà assez clairement indiqué sur les dessins qui en ont été publiés ([17]) une carène sternale terminée postérieurement en épine, mais sa morphologie tarsale n'est pas très concluante. Il y a en outre le *Permophilus Pincombei* du permien supérieur que TILLYARD ([18]) considère sans aucun doute comme l'un des ancêtres directs des Hydrophilides actuels, ce dernier terme étant pris dans son sens large. Ce fossile est comparé à *Hydrous latipalpis* d'Australie ; c'est un élytre, long de 21,5 mm., sans stries longitudinales définies, qui paraît muni déjà d'une alula, cette partie restée membraneuse du champ anal de l'aile antérieure qu'on remarque aussi bien chez *Hydrous* que chez *Dytiscus*. S'il est vrai que cet élytre ne diffère essentiellement de celui de nos actuels grands Hydrophiles que par des détails de contour, comme le texte et les figures l'établissent, je ne vois pas bien quelle est la raison morphologique justifiant pour ce fossile l'établissement d'une famille distincte, celle des *Permophilidae*. L'auteur a sans doute été influencé par l'âge des couches ayant livré les plus anciens restes de Coléoptères connus. Quant à moi et à tout prendre, je ne puis voir dans un document aussi fragmentaire que le débris d'un précurseur possible de quelques-uns de nos Palpicornes, les grands *Hydrous* par exemple, formes qui ne se classent précisément pas parmi les plus primitives de la série. Si donc *Permophilus* était analogue à certains *Hydrophilidae* sens strict, il devait y avoir déjà à l'époque permienne — la morphologie comparée l'exige — des *Hydraenidae* avec organisation autrement archaïque, des formes ressemblant par exemple à *Hydraenida* du Chili ou à nos *Hydraena*, mais sans la grande spécialisation actuelle de ces dernières ; et d'autres encore avec quelques-uns des caractères offerts par nos Hélophores ou les genres néo-zélandais *Horelophus*, *Rygmodus* et *Saphydrus*. Peut-être en trouvera-t-on un jour des

([13]) *Annal. des Naturh. Museums Wien*, **37**, 1-200 (1924).
([14]) *Le peuplement de la Corse, les Coléoptères* ; Bastia, in-8°, 31 pages (1926).
([15]) Paru depuis dans les *Mémoires de la Société Entomologique de Belgique*, **23**, 33-48 (1930).
([16]) Trans. 4th Intern. Congress of Entomology, **2**, 1024-1028 (1929).
([17]) Notamment dans *Handlirsch, Die fossilen Insekten*, pl. 45, f. 10 (1906).
([18]) *Proceed. Linn. Soc. N. S. Wales*, **49**, 430 (1924).

restes, à moins que par leur taille réduite ils n'aient pu résister à l'épreuve de la fossilisation. Quoi qu'il en soit, ces diverses trouvailles, intéressantes en elles-mêmes, ne donnent aucune solution positive à la question de l'origine de nos formes actuelles, qui se perd simplement un peu plus dans le lointain passé géologique. Quant aux *Permosinidae* des mêmes couches permiennes, famille que Tillyard considère comme ancestrale par rapport au genre triasique *Ademosyne*, rien ne prouve que ces deux groupes de fossiles soient des Palpicornes. J'ai eu l'occasion il est vrai d'attirer moi-même l'attention sur l'analogie existant dans la disposition des séries ou stries élytrales chez *Permosyne belmontis* et chez *Thysanarthria* (de Madagascar et d'Asie méridionale) ([19]), mais ce n'est là certainement qu'un curieux rapprochement, sans indice de réelle parenté. Plus près de nous, dans le Pléistocène, vivait un représentant du sous-genre éteint *Orphelophorus*, dont j'ai pu étudier deux élytres ([20]). Ceux-ci par leur étonnante conservation, permettent de mieux se rendre compte des affinités que présentent entre eux les différents sous-genres d'Hélophores.

Après avoir dressé ce rapide bilan de l'état de nos connaissances, il reste à examiner dans quelles directions les futures recherches devront être poussées. Il faudra établir encore les particularités morphologiques présentées par de nombreuses larves tant indigènes qu'exotiques. Il serait si nécessaire par exemple de connaître les premiers états d'*Horelophus*, de *Rygmodus*, de *Saphydrus*, genres dont il a déjà été parlé. Ces larves sont-elles holopneustiques comme la bionomie terrestre des adultes, vivant loin de toute eau, semble l'indiquer ? En quoi consiste leur morphologie céphalique externe, buccale, etc. ? Car cette curieuse faune antarctique, qui ne comprend pas moins de 19 coupes qui lui sont propres sur un total de 25 connues, soit 76 % ([21]) et qui dans l'Australie n'a d'analogue que *Pseudohydrobius* parmi les formes autochthones, mériterait plus d'attention. L'importance de ces dernières paraît ne pas avoir été comprise, même par Tillyard, puisque dans son traité ([22]), il donne du groupement qui nous occupe, une définition qui ne tient aucun compte des caractères offerts par les *Rygmodini* néo-zélandais. Il faudra ensuite faire plus ample connaissance avec les caractères des nymphes, ainsi que Richmond, dans le mémoire annoté, l'a fait pour les formes nord-américaines qui lui étaient accessibles. En même temps, d'anciennes espèces devront être mieux délimitées, leur nomenclature fixée, des synonymies être vérifiées ou établies et l'examen des nouveaux matériaux récoltés un peu partout amènera sans aucun doute la création de nombreuses espèces ou de coupes nouvelles. Cette phase de l'activité du spécialiste pourra paraître fastidieuse, dénuée même de grand intérêt pour le chercheur appartenant à d'autres disciplines scientifiques,

([19]) *Bull.* et *Ann. Soc. Entom. de Belgique*, 66, 195 (1926).
([20]) *Sitzungsber. und Abhandl. Ges. Isis*, 100-104 (1927).
([21]) Proportion qui n'est atteinte, même de loin, par aucune des grandes faunes de la terre.
([22]) *The Insects of Australia and New Zealand* ; Sydney (1926) 196-197.

mais ce travail est cependant indispensable ; c'est la rançon du progrès et le seul moyen de parvenir à une plus grande approximation dans la connaissance des relations existant entre les formes diverses d'un même groupe, de donner aux recherches de zoogéographie, aux travaux bionomiques, ontogénétiques, etc., une base certaine. La morphologie externe ou interne de plusieurs formes déjà connues devra, en outre, être approfondie et les génitalia être étudiés et surtout interprétés correctement, le dimorphisme sexuel secondaire mis en lumière ou mieux illustré, les genres à espèces nombreuses revisés, etc. Ce programme est vaste et il faudra plus d'une vie d'homme pour le réaliser. Enfin une monographie de tout le groupe est le but vers lequel tous les efforts doivent tendre.

PREMIERS RÉSULTATS ENTOMOLOGIQUES D'UN VOYAGE AUX BALKANS

par A. d'ORCHYMONT.

(Résumé)

Il se conçoit qu'une péninsule aussi vaste que celle des Balkans — laquelle mesure à vol d'oiseau plus de 1000 km. dans sa partie la plus large de l'Ouest à l'Est, et plus de 800 km. dans une direction perpendiculaire à la première — soit dotée, même pendant la belle saison, d'un climat très varié suivant les régions qui la constituent. Cette diversité n'est même peut-être nulle part aussi accusée qu'ici car plusieurs facteurs contribuent à la produire. C'est d'abord le voisinage de la mer qui donne aux basses régions côtières méridionales ce facies subtropical si net et caractérisé, déjà pour les non-initiés, par l'exubérance des agaves, des cactus en haies, des oliviers, des palmiers, des lauriers roses, quelquefois des orangers et des figuiers, etc. Il y a ensuite la proximité des immenses étendues continentales asiatiques à laquelle sont dus en partie la chaleur et la grande sécheresse de l'été, les grands froids de l'intérieur en hiver. En outre, l'existence de massifs montagneux puissants et élevés, appartenant aux formations géologiques les plus diverses et soustraits en partie aux influences mentionnées ci-dessus, est cause de nouvelles et notables perturbations climatiques.

Ces contrastes influencent fortement, cela va de soi, la composition de la faune entomologique de la péninsule, dont l'origine est au surplus multiple. Cette faune n'est encore qu'imparfaitement connue, et s'il était utile de faire plus ample connaissance avec certaines formes qui n'avaient plus été revues depuis leur première découverte, il était aussi nécessaire de s'en procurer d'autres pour des travaux en cours. Ce sont ces raisons qui ont incité l'auteur à continuer cette année l'exploration entomologique commencée il y a un an. Celui-ci relate quelques observations qu'il a pu faire sur le terrain, notamment au sujet du milieu dans lequel vivent certaines espèces de Coléoptères aquatiques, certains à distribution très locale, comme *Hydraena samnitica* des Abruzzes, *Micragasma paradoxum* de Corfou, *Ochthebius metallescens* de la même île, *Hydraena Meschniggi* de Morée, *Ochthebius moreanus* de Kalamata, *Hydraena Kaufmanni* et *Helophorus singularis* des environs de Hercegnovi, etc. L'Eubée a été visitée aussi, de même que le massif du Mala Rupa en Macédoine et l'Albanie, depuis le lac d'altitude Ohrid jusqu'à la mer, par la vallée du Schkumbi. Une relation complète des résultats entomologiques obtenus sera publiée plus tard après étude du très nombreux matériel rapporté.

9e Section : Biologie

Président: M. Rubay.
Vice-Président : MM. P. Debaisieux, J.-F. Heymans.
Secrétaire : M. P. Spehl.
Membres : MM. L. Fredericq, Demoor, Grégoire, Willem.

Certaines communications intéressant les membres de différentes sections, la section de Biologie a été partagée entre trois sections mixtes :
Section de biologie-médecine ; secrétaire, M. Spehl,
Section de biologie-botanique ; secrétaire M. Hauman.
Section de biologie-zoologie ; secrétaire M. de Selys-Longchamps.

Pour les deux dernières sous-sections, voir le programme des sections de botanique et de zoologie.

Lundi 30 juin, à 9 heures.

Président : M. Rubay.

Communications :

M. Nolf : *Le système nerveux autonome.*
M. Weekers : *Modifications expérimentales de la tension oculaire.*
M. Bordet : *Note sur l'activité scientifique de l'Institut Pasteur de Bruxelles.*
M. Roskam : *Plaquettes sanguines et rétraction des caillots fibrineux.*
Discussion : MM. Bordet, Jaumain.
M. Leplat : *De la tension veineuse rétinienne.*
M. Poverman et M. Brull : *Contribution à l'étude du métabolisme calcique; citrates et excrétion urinaire du calcium.*

Mardi 1er juillet, à 9 heures.

Président : M. Rubay.

Communications :

M. Zunz : *Régulation de la glycémie et relations entre les sécrétions externe et interne du pancréas.*
M. Bruynoghe : *Aperçu sur les récentes recherches faites à l'Institut bactériologique de Louvain ; la spécificité des protéides.*

M. Bigwood : *De la perméabilité des gels aux électrolytes. Les substances réductrices du sang ; La glycémie.*

M. Hoet : *Le travail musculaire du diabétique et l'innervation du pancréas.*

M. Firket : *Contribution à l'étude du rôle du glutathion dans la croissance normale et máligne.*

MM. Brouha et Simonet : *Considérations sur le principe gonadotrope de l'urine des femmes enceintes et des extraits du lobe antérieur de l'hypophyse.*

Mercredi 2 juillet à 9 heures.

Président : M. Nolf.

M. Demoor : *Le réglage humoral.*
Discussion : MM. J.-P. Bouckaert, C. Heymans, Nolf.

M. De Meyer : *Sur quelques faits relatifs à l'électrocardiogramme.*

M. C. Heymans : *Recherches sur la physiologie et la pharmacologie de la circulation et de la respiration, rôle des sinus carotidiens.*

M. Bremer : *Recherches sur le tonus et la contracture des muscles squelettiques.*

M. P.-J. Bouckaert : *Rapport sur l'activité scientifique du laboratoire de physiologie de l'Université de Louvain.*

M. Watrin : *Théories de la menstruation.*

LE SYSTÈME NERVEUX AUTONOME

par P. NOLF

Professeur à l'Université de Liége

(Fondation médicale Reine Elisabeth)

L'expression système nerveux autonome a été introduite par le physiologiste de Cambridge, Langley, pour désigner cette partie du système nerveux qui comprend le sympathique et le parasympathique.

Avant Langley, l'opinion prévalait que le sympathique est un système nerveux relié, il est vrai, au névraxe, mais jouissant vis-à-vis de lui d'une certaine indépendance et ayant dans ses attributions de présider aux fonctions de la vie végétative. D'où le nom de système nerveux végétatif ou viscéral opposé au système nerveux de la vie de relation.

Chargé d'établir l'harmonie de fonctionnement entre les diverses fonctions végétatives, le système nerveux sympathique était supposé pourvu de centres, les gros ganglions abdominaux, les ganglions de la chaîne sympathique et les masses nerveuses distribuées dans les viscères. A ces centres aboutissaient des fibres centripètes qui leur amenaient les impressions inconscientes émanées des viscères ; de ces centres s'irradiaient des fibres centrifuges distribuant leur influx dans les glandes et les muscles viscéraux. A cette conception, Langley en a substitué une nouvelle, issue de ses consciencieuses recherches expérimentales qu'aucun travail ultérieur n'a encore infirmées. D'après lui, le système nerveux autonome est dépourvu de fibres centripètes propres, venues des viscères et aboutissant à ses ganglions. Aucune des fibres de la sensibilité viscérale ne s'arrête dans les ganglions viscéraux, sympathiques ou parasympathiques. Toutes passent par les racines postérieures des nerfs rachidiens ou craniens et viennent se terminer dans le névraxe. Dépourvus de voies afférentes, les ganglions sympathiques ou parasympathiques ne sont donc pas de vrais centres, au sens physiologique du mot, mais des relais nerveux placés sur le parcours de fibres qui émanent du névraxe. Le système nerveux autonome est une voie nerveuse efférente, issue du névraxe, et dont c'est la fonction de relier le névraxe aux glandes, aux muscles lisses des viscères et aux fibres musculaires du cœur.

A l'encontre des fibres efférentes qui innervent les muscles striés squelettiques et relient directement, sans solution de continuité nerveuse, la substance grise de la moelle aux fibres musculaires, la voie efférente autonome est interrompue par un relai ganglionnaire. Les fibres autonomes

émanées du névraxe ont été appelées préganglionnaires. Elles se terminent dans les ganglions du système nerveux autonome. Elles sont pourvues d'une gaine de myéline. Des cellules ganglionnaires formant les ganglions autonomes partent des fibres sans myéline, fibres de Remak, qui se rendent aux muscles lisses et aux glandes.

La conception de Langley a été admise dans ses grandes lignes par les physiologistes, au moins en ce qui concerne l'innervation de la plupart des viscères. Mais parmi ces derniers, il en est un, le tube gastro-intestinal, dont l'organisation nerveuse paraît difficilement explicable suivant le schéma relativement simple de Langley.

Si l'on sépare l'œsophage du névraxe, en sectionnant les fibres autonomes qui les unissent, on en fait un organe inerte, incapable de fonctionner. Il n'en est pas de même de l'estomac et de l'intestin. Une anse intestinale sortie de l'organisme et examinée dans un milieu salin approprié *in vitro* est restée capable d'exécuter ces contractions coordonnées, les mouvements péristaltiques, dont c'est la fonction de faire progresser son contenu d'avant en arrière, de la bouche vers l'anus. Introduit-on un corps étranger dans sa cavité, à l'extrémité orale, on provoque l'apparition d'ondes contractiles, régulières, rythmiques qui le déplacent progressivement vers l'extrémité aborale. Sous leur poussée, le corps étranger progresse lentement, parcourt toute la longueur de l'anse et finit par être expulsé au niveau de l'orifice aboral. L'analyse de ces contractions faite par Bayliss et Starling a montré que ces ondes péristaltiques sont constituées par un ensemble coordonné de contractions et de relâchements. Chaque onde débute par un relâchement à laquelle succède une contraction, de sorte que l'onde, en se propageant d'avant en arrière, ouvre successivement chaque segment intestinal devant le contenu intestinal poussé par le segment en amont. Si l'on pince une anse intestinale, complètement séparée de ses connexions nerveuses avec les centres, en un point de son trajet, on voit apparaître une contraction en amont et un relâchement en aval. De telles constatations paraissent être de la nature des réflexes spinaux. Bayliss et Starling ont adopté cette explication et ils ont donné au phénomène décrit par eux le nom de réflexe myentérique. Or, un réflexe vrai suppose une voie afférente, un centre, une voie efférente. C'est-à-dire que l'ancienne conception du système nerveux sympathique paraissait trouver ici une confirmation expérimentale. Langley, sans contester l'exactitude des faits découverts par Bayliss et Starling, n'a pas admis leur interprétation. Il reconnaissait cependant que l'autonome gastro-entérique est doué de propriétés spéciales, dont il n'a pas fait l'analyse.

Les expériences dont l'exposé suit, ont été faites chez le coq. L'intestin de l'oiseau est animé de mouvements analogues à ceux de l'intestin du mammifère et, suivant toute probabilité, la motricité intestinale est assurée par le même mécanisme dans les deux classes de vertébrés. L'oiseau est un animal résistant, qui supporte sans dommage apparent des interventions sur le système nerveux qui seraient difficilement compatibles avec une survie suffisamment longue du mammifère. Il est relativement aisé de lui

sectionner les deux nerfs vagues sous le cœur et tous les nerfs sympathiques qui se rendent à l'estomac et à l'intestin. Malgré la dégénérescence de ces nerfs, l'animal continue à se nourrir et à digérer sa nourriture. Une anse intestinale prélevée à l'animal après la dégénérescence des nerfs exécute *in vitro* des contractions péristaltiques parfaitement normales. Si l'on stimule une telle anse par le courant faradique, en appliquant successivement le stimulant à chacune de ses extrémités, on obtient un résultat différent suivant que l'on stimule l'extrémité orale ou l'extrémité aborale. Dans le premier cas, il naît sous les électrodes une onde péristaltique qui parcourt l'anse d'avant en arrière, suivant toute sa longueur, même si l'anse est longue de 50 centimètres ou davantage. Dans le second cas, l'anse se contracte aussi, mais jamais la contraction ne s'étend à plus de 10 centimètres en amont du point stimulé.

Cette inégalité de diffusion de la contraction vers l'amont ou l'aval permet de supposer que la stimulation électrique agit sur la musculature intestinale par l'intermédiaire du système nerveux intrinsèque. Elle tend de plus à faire croire que ce système n'est pas également perméable à la propagation de l'influx nerveux dans les deux sens. Lorsqu'une voie nerveuse se laisse descendre par l'influx nerveux sans se laisser remonter par lui, c'est qu'elle est parsemée de synapses. Le synapse joue dans le système nerveux le rôle de la valve qui laisse passer le courant dans un sens et s'oppose à son passage dans le sens opposé.

L'explication la plus simple de l'expérience précédente est d'admettre qu'il existe une voie nerveuse qui suit l'axe longitudinal de l'intestin et qui est formée de neurones longs de 10 centimètres, ces neurones étant connectés entre eux de façon que les synapses laissent passer l'influx du neurone antérieur vers le neurone postérieur, mais non inversement.

Cette déduction peut être vérifiée par l'emploi de la nicotine. On sait depuis Langley que la nicotine bloque les synapses du système nerveux autonome. Si la voie nerveuse entrevue est jalonnée de synapses distants de 10 centimètres, il doit en résulter que, si l'on immerge dans un bain additionné de nicotine la partie moyenne d'une longue anse dont les extrémités sont hors de l'atteinte du toxique, l'anse cessera de laisser les influx nerveux nés à son extrémité orale sous l'influence de la stimulation faradique se propager vers son extrémité aborale, dès que le segment immergé atteint une longueur de 10 centimètres. C'est ce que confirme l'expérience.

Nous pouvons donc admettre, sur la foi de ces observations dont je n'indique que les résultats essentiels, que le système nerveux entérique est formé par une chaîne de neurones longs de 10 centimètres et qui sont articulés entre eux de façon que l'influx nerveux ne puisse se propager que dans le sens oral-aboral.

Ce point acquis, la question se pose immédiatement de savoir si ces neurones sont moteurs, c'est-à-dire pourvus d un cylindre-axe dont certaines ramifications innervent la musculature intestinale. L'emploi de la nicotine permet encore de répondre à cette question. Si les neurones consti-

tuant la chaîne ganglionnaire sont en connexion directe avec les fibres musculaires, la nicotine est incapable de supprimer cette connexion. Elle bloque les synapses mais laisse intactes les jonctions neuro-musculaires du système nerveux autonome. Une anse longue de 10 centimètres devrait, après avoir subi l'action du toxique, se contracter encore suivant toute sa longueur. Or il n'en est rien. Après la nicotine, la stimulation de l'une ou l'autre extrémité provoque une contraction qui ne s'étend pas à plus de 2 à 3 centimètres des électrodes.

Au lieu de soumettre cette anse de 10 centimètres à l'action de la nicotine suivant toute sa longueur, on peut n'en immerger qu'une partie. Supposons-la suspendue verticalement par son extrémité aborale au-dessus du bain qui contient la nicotine. Si avant de la soumettre à l'action du toxique, nous stimulons l'extrémité aborale, l'anse se contractera suivant toute sa longueur. Si maintenant nous la plongeons progressivement dans le bain et répétons les stimulations, nous constaterons que les parties immergées cessent de se contracter en réponse aux stimulations. En variant les conditions de l'expérience, c'est-à-dire en appliquant la nicotine tantôt sur la moitié orale, tantôt sur la moitié aborale de l'anse, tout en stimulant l'extrémité opposée, on s'assure que les neurones qui constituent la chaîne ganglionnaire n'envoient aucune de leurs ramifications aux fibres musculaires. Entre eux et le tissu musculaire s'interpose une assise de neurones moteurs. On en arrive ainsi à considérer le système nerveux entérique comme étant constitué de deux assises superposées de neurones. L'assise supérieure est formée par ces neurones de 10 centimètres de longueur, articulés entre eux de façon à former la chaîne qui a été décrite précédemment. Ces neurones établissent un lien nerveux entre les segments successifs du tube intestinal. Ils assurent la coordination de leurs contractions. Ils sont l'organe du péristaltisme. Ils sont désignés sous le nom de neurones connecteurs.

L'assise inférieure, périphérique, est formée de neurones moteurs dont le cylindre-axe, long d'environ 2 centimètres, est en connexion directe avec le tissu musculaire.

Cette description omet un élément nerveux dont les expériences de Bayliss et Starling ont démontré l'existence dans le système nerveux entérique, un élément intrinsèque inhibiteur. Pour l'étudier, il convient de soumettre l'anse à l'action de faibles concentrations d'atropine. Cette substance paralyse l'élément moteur et laisse subsister le mécanisme inhibiteur. Stimulée par le courant faradique à son extrémité orale, une anse atropinée est parcourue par une onde qui se déplace d'avant en arrière avec la vitesse d'une onde péristaltique normale. Mais à l'encontre de cette dernière, elle ne comprend aucune composante motrice. Elle ne propulse pas le contenu intestinal. Au moment où elle passe, la paroi au lieu de se contracter, se relâche. L'onde est purement inhibitrice.

Si l'on analyse le mécanisme de cette onde d'inhibition en lui appliquant les procédés employés dans l'étude de l'onde motrice, on arrive à la conclusion que l'inhibition de la paroi musculaire est sous la dépen-

dance immédiate d'une assise de neurones inhibiteurs, qui sont en quelque sorte l'image symétrique des neurones moteurs précédemment décrits. Comme eux, ils sont directement reliés par leur cylindre-axe, long de 2 centimètres, aux fibres musculaires. Comme eux, ils sont placés sous la dépendance de neurones connecteurs.

La chaîne des neurones connecteurs avec les neurones moteurs et inhibiteurs qu'elle commande, est un mécanisme pourvu des rouages nécessaires pour exécuter les mouvements qu'une anse intestinale privée de toute connexion avec le névraxe est capable d'exécuter.

Pour achever l'examen de la question de savoir si l'anse isolée peut être le siège de véritables réflexes, il nous reste à rechercher si, à côté des neurones déjà décrits, il convient de faire une place à des neurones afférents.

Pour l'étude de cette question, le stimulant électrique ne convient pas, parce que son action n'est pas élective, qu'elle se porte indifféremment sur tous les éléments nerveux contenus dans la paroi intestinale. Il convient donc de faire appel à des stimulants plus spécifiques, tels que stimulants mécaniques ou chimiques.

Parmi les premiers, la distension de l'anse en un point déterminé de son parcours paraît être un procédé de choix, parce qu'il est l'équivalent du stimulus normal exercé par le contenu intestinal au cours d'une digestion.

Un ballonnet de caoutchouc souple a été introduit dans la cavité d'une anse isolée, observée *in vitro*. Si on le gonfle modérément par l'injection d'un peu de liquide dans sa cavité, on produit la distension transversale de la paroi intestinale au point où elle le revêt. Cette distension entraîne invariablement une réaction à distance, sous la forme d'une onde péristaltique qui prend son départ au niveau du segment distendu. La réaction est exclusivement en aval du ballonnet ; il n'en existe pas trace en amont.

A la stimulation mécanique, substituons la stimulation chimique. Ici, encore, il est indiqué de recourir à la nicotine. Au moment de son application, elle commence par stimuler les neurones au niveau de leur corps protoplasmique, avant de paralyser les synapses. Plonge-t-on l'extrémité orale d'une anse dans une solution de nicotine, régulièrement on voit une onde péristaltique naître à l'endroit immergé et se propager vers l'aval. Au contraire, l'immersion de l'extrémité aborale n'entraîne aucune réaction en amont.

L'asphyxie est également un stimulant du corps protoplasmique des neurones. Il est possible d'asphyxier un segment bien limité d'une anse plongée dans un liquide salin dans lequel barbote un courant d'oxygène. Il suffit pour cela de glisser sur elle un court segment en forme de manchon découpé dans le même intestin. En s'interposant entre l'oxygène du milieu extérieur et l'anse en expérience, le manchon empêche la pénétration de l'oxygène vers le segment recouvert, qui s'asphyxie.

La conséquence de cette intervention, c'est, après quelques secondes,

une onde de contraction péristaltique qui naît dans le segment en voie d'asphyxie et se propage vers l'aval. En amont, l'anse ne se contracte pas. Comme chacun le sait, l'asphyxie au début exerce une action stimulante sur le corps protoplasmique des neurones. Si pareille stimulation provoque une contraction seulement en aval, jamais en amont, il faut bien conclure que dans le plexus entérique tous les neurones ont le cylindre-axe orienté vers l'arrière ; aucun n'est tourné vers l'avant. Et cette conclusion est confirmée par les résultats précités de l'application locale de la nicotine et de la distension locale.

Ces résultats se concilient mal avec l'existence dans le plexus entérique de neurones afférents intrinsèques. Pour s'en convaincre, il suffit de se demander de quelle utilité seraient pour l'intestin des neurones afférents à cylindre-axe tourné vers l'arrière. Quelle possibilité fonctionnelle nouvelle de tels neurones lui apporteraient-ils? La réponse ne peut être que négative : ils seraient inutiles, ils feraient double emploi avec les neurones connecteurs. En effet, la stimulation de ceux-ci au niveau de leur corps protoplasmique par l'asphyxie, par la nicotine doit nécessairement avoir pour résultat la production d'une onde péristaltique, c'est-à-dire précisément le résultat expérimental observé. Enfin pour que la distension transversale puisse agir sur ces mêmes neurones connecteurs, il suffit qu'ils soient pourvus de prolongements protoplasmiques, ce qui est établi par l'examen microscopique des cellules du plexus d'Auerbach.

Cette chaîne ganglionnaire avec son assise périphérique composée de neurones moteurs et inhibiteurs est un mécanisme suffisant pour permettre à une anse intestinale de réagir à une stimulation mécanique, chimique ou électrique d'un point de sa paroi par une onde péristaltique bien coordonnée, dirigée vers l'aval et prenant sa naissance au point stimulé.

Mais dans les expériences de Bayliss et Starling, l'intestin, privé de tout lien nerveux avec la névraxe, répondait à la stimulation mécanique appliquée en un point de son trajet non seulement par une réaction en aval, mais aussi par une réaction en amont. Pour expliquer ces réactions en amont du point stimulé, à des distances relativement considérables, il faut faire intervenir un élément nerveux qu'à dessein nous avons éliminé des expériences précédentes. Celles-ci ont été faites sur l'intestin d'oiseaux dont les vagues et les nerfs sympathiques gastro-intestinaux avaient été sectionnés deux à trois semaines avant l'expérience et étaient dégénérés.

Chez l'animal normal, les choses se passent différemment. Suspendons une anse prélevée à un animal normal dans du liquide salin oxygéné *in vitro*. L'anse est pourvue d'un nerf mésentérique à son extrémité aborale. Ce nerf contient des fibres mélangées des nerfs vagues et sympathiques. Si nous le stimulons, nous verrons apparaître un mélange d'effets inhibiteurs et moteurs jusqu'à 12 centimètres en amont du point d'insertion du nerf. Ce qui signifie que le nerf mésentérique abandonne à l'intestin des fibres dont certaines remontent jusqu'à 12 centimètres en amont de son point d'insertion. On démontre tout aussi facilement qu'il lui fournit aussi des fibres descendantes : la stimulation d'un nerf inséré à l'extrémité

orale d'une anse y fait naître une onde péristaltique qui se propage vers l'aval et parcourt l'anse suivant toute sa longueur. L'onde sera motrice, si l'intestin est normal ; elle sera inhibitrice, s'il a été soumis à l'action de l'atropine. La stimulation du nerf oral produit donc des effets absolument analogues à ceux que nous avons attribués précédemment à la stimulation de la chaîne ganglionaire. On peut en conclure que le nerf contient des fibres qui viennent s'articuler avec les neurones connecteurs de la chaîne ganglionnaire, c'est-à-dire des fibres préganglionnaires. Par des expériences qu'il serait trop long d'exposer ici, on démontre que ces fibres préganglionnaires sont en partie vagales, en partie sympathiques.

Il reste à élucider un dernier point. Lorsqu'un nerf abandonne à la paroi intestinale des fibres ascendantes et des fibres descendantes, ces fibres sont-elles individuellement la continuation des fibres du nerf ou résultent-elles de leur division dichotomique ?

Pour résoudre cette question, il suffit de comparer les distances de propagation vers l'amont d'une stimulation de l'extrémité aborale d'une anse, suivant qu'elle est normale ou énervée. Il a été dit au début de cet exposé que sur l'anse énervée, l'aire de propagation ne dépasse jamais 10 centimètres. Sur l'anse normale, elle atteint 20 centimètres et dépasse même cette longueur. Celle-ci étant très supérieure à la longueur qui a été attribuée aux fibres ascendantes du nerf, il n'est pas d'autre explication de ces faits que d'admettre qu'au point où les fibres préganglionnaires des nerfs mésentériques joignent la paroi intestinale, elles se divisent dichotomiquement en un rameau ascendant, long de 12 centimètres et un rameau descendant, de même longueur approximative. Chaque fibre couvre donc par ses ramifications une aire dont la longueur dépasse 20 centimètres dans le sens de l'axe longitudinal de l'intestin.

Si l'on stimule par le courant électrique ou un moyen mécanique l'extrémité aborale de cette expansion de la fibre nerveuse, on fera naître un influx qui se distribuera dans toute l'aire couverte par les ramifications de la fibre et sera capable d'aller éveiller des réactions de la chaîne ganglionnaire jusqu'à plus de 20 centimètres en amont. De telles réactions ont les caractères apparents des réflexes, sans être cependant des réflexes au sens vrai du mot. Ils ont été décrits pour la première fois par Langley sous le nom d'axone-réflexes. L'ensemble des constatations tend à faire croire que les réflexes observés par Bayliss et Starling sont des axone-réflexes.

La conclusion générale de ces recherches est qu'il n'existe à l'heure actuelle aucun fait relatif aux fonctions de motricité de l'intestin qui soit exclusif d'une extension au système nerveux gastro-intestinal de la conception que Langley s'est faite du système nerveux autonome.

Le système nerveux gastro-intestinal, tout comme les autres parties du système nerveux autonome, est une expansion du névraxe, une voie efférente. Elle diffère seulement des autres parties du système autonome par cette particularité d'être jalonnée par deux relais synaptiques au lieu d'un seul.

MODIFICATIONS EXPÉRIMENTALES DE LA TENSION OCULAIRE

par L. WEEKERS,

Professeur à l'Université de Liége.

Quelle est la nature exacte du liquide oculaire ? Par quel mécanisme s'opère la régulation de l'ophtalmotonus ?

Pour élucider ce problème, on a eu recours à l'expérimentation. Il est possible en effet de modifier la tension oculaire de diverses façons : je citerai le massage du globe (Löwenstein et Kubik), la compression du globe (Magitot, Baillart, Bonnefon, etc.), la piqûre de l'iris (Magitot), la piqûre du corps ciliaire (Pesme et Duthil), l'injection sous la conjonctive de substances irritantes (Wessely, Weekers), la cautérisation de la sclérotique (Weekers), la contusion du globe (G. Leplat), etc.

On a étudié également les modifications de l'ophtalmotonus provoquées à distance par la ligature de la carotide ou des veines jugulaires (Wessely, Magitot) ou encore par une action sur le système nerveux (sensitif, sympathique, parasympathique) en sectionnant le trijumeau, le sympathique cervical, les filets du nerf oculo-moteur commun.

Ces faits ont donné lieu à des interprétations diverses, même contradictoires. Les lois générales qui président aux modifications expérimentales de la tension oculaire ne sont pas définies.

Les recherches que je relaterai ci-après ont consisté à étudier les modifications de la tension oculaire, provoquée par l'injection orbitaire de diverses substances, susceptibles d'agir directement, soit sur les vaisseaux, soit sur les différents éléments nerveux contenus dans l'orbite.

La voie orbitaire a été peu utilisée par les expérimentateurs. Ce sont des observations cliniques qui ont attiré mon attention sur cette question.

Fromaget [1] a signalé que l'injection rétro-oculaire d'une petite quantité d'adrénaline, diminue l'hypertension de l'œil glaucomateux.

Personnellement [2], en traitant des yeux douloureux, doués de vision, par l'injection rétro-oculaire d'un centimètre cube d'alcool peu concentré (40 %), j'ai constaté, en plus des effets favorables sur les douleurs oculaires, que l'alcool possède une action hypotonisante très manifeste.

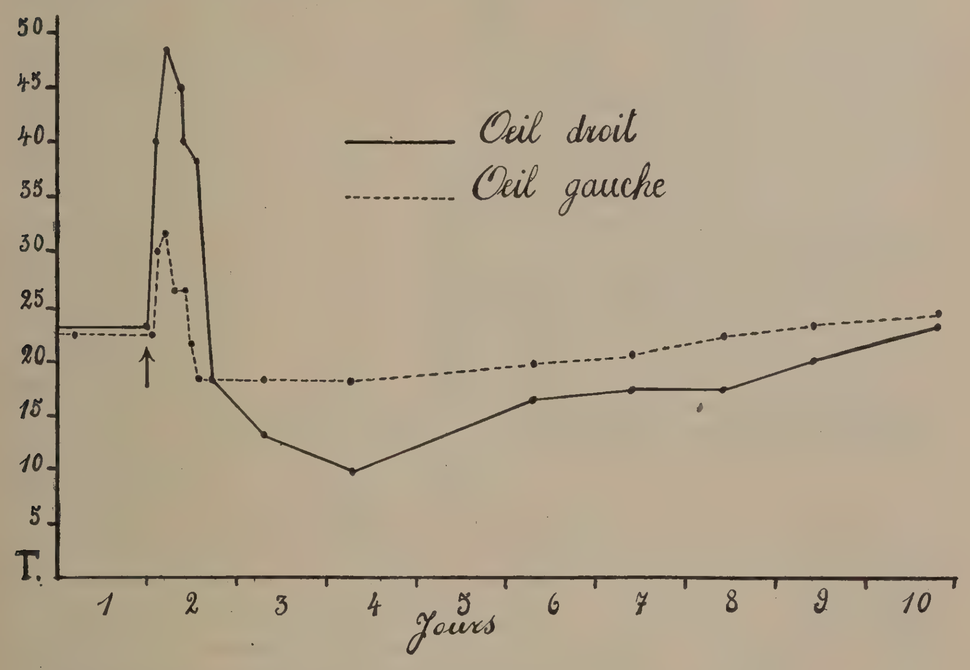
Ces faits m'ont conduit à rechercher d'une façon systématique chez l'animal, les effets ophtalmotoniques provoqués par l'injection orbitaire de diverses substances.

(1) Fromaget, *Annales d'Oculistique*, 424, 1921.
(2) *Archives d'Ophtalmologie*, 299, 1930.

Toutes mes expériences ont été pratiquées sur le lapin. Elles consistent à injecter, sans anesthésie, dans l'orbite (habituellement du côté droit) une solution d'une substance déterminée et de mesurer ensuite par intervalles, la tension des deux yeux, au moyen du tonomètre de Schiötz.

Les substances que j'ai expérimentées sont les suivantes : solutions salines hypertoniques, isotoniques ou hypotoniques (Na Cl, Na2CO3, NaC7 H5O3, CaCl2, KCl, etc.); substances à réaction basique ou acide (NH4OH dilué, NaHCO3, solutions diluées d'acide acétique, d'acide chlorhydrique, etc.) ; substances irritantes ou caustiques (dionine, alcool, iode, etc.) ; substances à action plus ou moins spécifique (adrénaline, histamine, cocaïne, ergotamine, pilocarpine, ésérine, arécoline, acéthylcoline, angioxyl, atropine, strychnine, nicotine, quinine, etc.).

Les modifications de la tension oculaire provoquées par l'injection orbitaire de ces diverses substances méritent d'être envisagées à part, pour chacune d'elle. Je me bornerai actuellement à relater, à titre d'exemple, deux de mes expériences.



EXPÉRIENCE I. — Lapin 2 kg. 650 (Figure 1).

13 février 1930 : T.O.D. = 23 ; T.O.G. = 22

Le matin à 9 heures, injection rétro-oculaire à droite de un centimètre cube d'une solution aqueuse de chlorure sodique à 20 %.

Il se produit rapidement du chémosis à l'œil droit ; la pupille est fortement rétrécie ; la cornée est un peu trouble ; l'œil gauche ne montre aucun changement, à part un léger rétrécissement pupillaire.

à 9 h. 30 : T.O.D. = 40 ; T.O.G. = 30
à 10 h. : T.O.D. = 48 ; T.O.G. = 32
à 10 h. 30 : T.O.D. = 45 ; T.O.G. = 26

à 11 h. 30 : T.O.D. = 40 ; T.O.G. = 26
à 14 h. 30 : T.O.D. = 38 ; T.O.G. = 22
à 17 h. 30 : T.O.D. = 18 ; T.O.G. = 18

L'œil droit est injecté modérément ; les autres symptômes ont disparu.

14 février 1930 : T.O.D. = 13 ; T.O.G. = 18
15 février 1930 : T.O.D. = 10 ; T.O.G. = 18
17 février 1930 : T.O.D. = 17 ; T.O.G. = 20
18 février 1930 : T.O.D. = 18 ; T.O.G. = 21
19 février 1930 : T.O.D. = 18 ; T.O.G. = 22
20 février 1930 : T.O.D. = 20 ; T.O.G. = 24
21 février 1930 : T.O.D. = 22 ; T.O.G. = 23

L'injection de l'œil droit s'est atténuée progressivement et a complètement disparu.

Expérience II. ([3]) — Lapin 2 kg. 700 (Figure 2).
7 janvier 1930 : T.O.D. = 19 ; T.O.G. = 23

Le matin à 8 h. 30 : injection rétro-oculaire à droite, de un centimètre cube d'une solution aqueuse de dionine à 10 %. A la suite de l'injection, apparaît du chémosis qui augmente progressivement.

à 9 h. : T.O.D. = 19 ; T.O.G. = 22
à 9 h. 30 : T.O.D. = 20 ; T.O.G. = 22
à 10 h. : T.O.D. = 19 ; T.O.G. = 23
à 11 h. : T.O.D. = 20 ; T.O.G. = 22

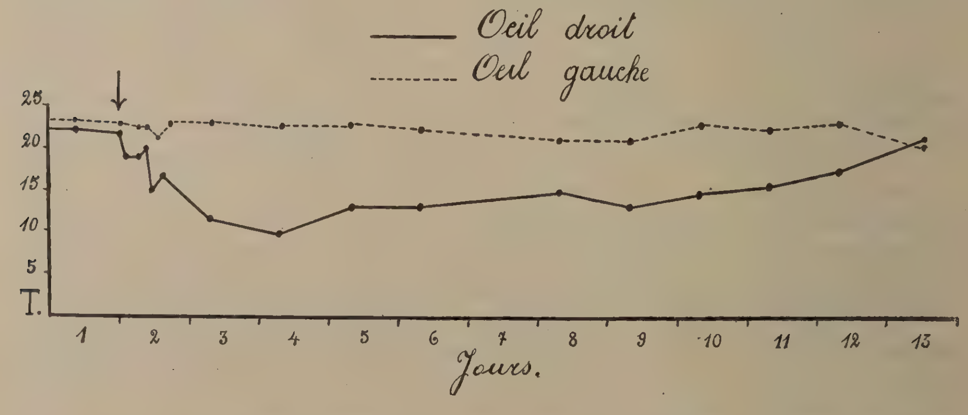
Le chémosis de l'œil droit est devenu intense, il existe un peu d'exophtalmie.

à 15 h. : T.O.D. = 15 ; T.O.G. = 21
à 18 h. : T.O.D. = 16 ; T.O.G. = 24

8 janvier 1930: L'œil droit est injecté, mais le chémosis a presque complètement disparu.

8 janvier 1930 : T.O.D. = 12 ; T.O.G. = 24
9 janvier 1930 : T.O.D. = 10 ; T.O.G. = 23
10 janvier 1930 : T.O.D. = 14 ; T.O.G. = 23
11 janvier 1930 : T.O.D. = 14 ; T.O.G. = 22
13 janvier 1930 : T.O.D. = 15 ; T.O.G. = 21
14 janvier 1930 : T.O.D. = 14 ; T.O.G. = 21
15 janvier 1930 : T.O.D. = 15 ; T.O.G. = 23
17 janvier 1930 : T.O.D. = 16 ; T.O.G. = 22
20 janvier 1930 : T.O.D. = 18 ; T.O.G. = 23
23 janvier 1930 : T.O.D. = 22 ; T.O.G. = 21

Les symptômes d'irritation de l'œil droit ont complètement disparu.



([3]) L'effet hypotenseur remarquable des injections orbitaires de dionine peut être utilisé avec succès, en clinique, dans le traitement du glaucome.

Pour rechercher les causes de ces modifications expérimentales de l'ophtalmotonus, j'ai eu recours à l'épreuve de la fluorescéine. Quand on injecte sous la peau ou dans une veine chez un lapin, une solution de fluorescéine sodique, le colorant apparaît en même temps ou presque en même temps dans les deux yeux. Si, pour l'une ou l'autre raison, se produit dans un des deux yeux une vasodilatation intra-oculaire, surtout uvéale, la fluorescéine apparaît dans cet œil, plus tôt et en plus grande abondance.

Lorsque la circulation redevient normale, on constate que le colorant, à nouveau, apparaît en même temps dans les deux yeux. L'épreuve à la fluorescéine permet donc de déceler sur le vivant, une vasodilatation intra-oculaire ; il est même possible jusqu'à un certain point, en répétant les injections de fluorescéine, de déterminer le début et la fin de la vaso-dilatation, lorsque celle-ci se prolonge pendant plusieurs jours.

Il en est inversement de même pour la vasoconstriction.

Sans entrer pour l'instant dans le détail de ces expériences, je résumerai les conclusions auxquelles elles ont abouti.

Les injections orbitaires provoquent des modifications de la tension oculaire par une action directe ou indirecte de la substance injectée, sur les vaisseaux orbitaires ; il en résulte d'abord comme conséquence un changement dans la circulation sanguine intraoculaire qui influe sur le régime de l'humeur aqueuse et retentit en fin de compte sur l'ophtalmotonus.

La perturbation provoquée dans la circulation sanguine uvéale est la cause initiale des variations de l'ophtalmotonus. Cette règle est générale ; elle s'applique à toutes les modifications expérimentales de l'ophtalmotonus quel que soit le procédé utilisé (massage, contusion, piqûre, etc.).

Il faut distinguer les effets qui résultent d'une part de la vasoconstriction, d'autre part de la vaso-dilatation uvéale. Les effets de la vasodilatation sont les plus manifestes. Il est plus difficile de mettre en évidence les effets d'une vasoconstriction uvéale provoquée expérimentalement au moyen de l'adrénaline, par exemple, parce qu'elle est brève et suivie le plus souvent d'une vasodilatation.

Quand la vasodilatation uvéale se produit d'une façon brusque et rapide, il en résulte une élévation de la tension oculaire, parce que le contenu du globe, dont la coque est inextensible, augmente brusquement.

Lorsque la vasodilatation est peu accusée et surtout quand elle s'installe lentement, l'hypertension est minime ; elle peut passer inaperçue ou faire complètement défaut. Dans tous les cas, même lorsqu'elle est très accusée l'hypertension est passagère; cette phase d'hypertension est de courte durée; elle est suivie d'une phase plus longue d'hypotension.

L'hypotension du globe est étroitement liée à la vasodilatation endoculaire ; l'une persiste exactement autant que l'autre.

Par quel mécanisme la vasodilatation uvéale, contrairement à l'idée qu'on pourrait s'en faire à priori, provoque-t-elle de l'hypotension ?

La vasodilatation endoculaire et les modifications hydromécaniques de

la circulation qui en résultent, (vitesse du sang, pression du sang dans les capillaires, ultrafiltration à travers la paroi des capillaires, etc.) modifient le rapport qui existe normalement entre la production et la résorption de l'humeur aqueuse.

Le liquide oculaire est le résultat d'un processus lent de dialyse et d'ultrafiltration qui s'opère au niveau de tous les capillaires sanguins endoculaires ; il existe cependant dans l'œil des zones différenciées au niveau desquelles les échanges entre le sang et le liquide oculaire sont plus actifs, soit vers l'intérieur (glomérules ciliaires), soit vers l'extérieur (canal de Schlemm, vaisseaux iriens).

Dans les conditions normales, la production et la résorption du liquide oculaire s'équilibre de façon à maintenir la tension oculaire à un niveau déterminé et constant, correspondant à 25 millimètres de mercure.

La vasodilatation uvéale entraîne une double conséquence :

1° Le régime de l'humeur aqueuse augmente ; il entre plus de liquide dans l'œil ; il en sort plus que normalement.

2° Le rapport entre la production et la résorption du liquide oculaire est profondément modifié ; ce rapport varie avec le degré de vasodilatation uvéale ; par comparaison avec les conditions normales, la résorption l'emporte sur la production, d'où hypotonie.

J'ai envisagé ci-dessus, les effets ophtalmotoniques résultant d'une vasodilatation endoculaire. Les conséquences de la vasoconstriction sont inverses ; il est difficile de les mettre en évidence expérimentalement. Par contre, la vasoconstriction et surtout le ralentissement de la circulation uvéale jouent un rôle pathogénique essentiel en clinique, dans l'hypertension oculaire qui caractérise certaines formes du glaucome (glaucome chronique).

Conclusion. — La tension oculaire est la résultante de deux facteurs : circulation sanguine, réplétion sanguine intraoculaire, d'une part ; régime (c'est-à-dire production et résorption) du liquide oculaire d'autre part. Ces deux facteurs sont dépendants l'un de l'autre ; le second est une conséquence du premier ; ils ont l'un sur l'autre une influence réciproque.

Le premier de ces facteurs n'intervient directement que dans les modifications passagères de l'ophtalmotonus ; par contre, les modifications dans le régime de l'humeur aqueuse expliquent les perturbations prolongées et persistantes de la tension oculaire.

NOTE SUR L'ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE DE L'INSTITUT PASTEUR DE BRUXELLES DANS LES DERNIÈRES ANNÉES

par le Dr J. BORDET,
Directeur de l'Institut Pasteur,
Professeur à l'Université de Bruxelles.

Je serai très bref concernant les services pratiques, ceux-ci se bornant en général à appliquer des notions scientifiques devenues classiques. Je signalerai toutefois, pour ce qui concerne la préparation du sérum antidiphtérique, que de nombreux essais ont démontré la supériorité de la méthode d'immunisation rapide. Les chevaux sont injectés chaque jour, sauf le dimanche, et sont ainsi constamment et très énergiquement sollicités à élaborer l'antitoxine. On obtient dans ces conditions, en quatre à cinq semaines, un sérum extrêmement puissant, dont le titre dépasse souvent 1.000 unités par centimètre cube, tandis qu'autrefois, lorsqu'on n'injectait les chevaux que tous les trois ou quatre jours, il fallait trois mois pour se procurer un sérum d'ailleurs beaucoup moins actif. De plus, au lieu de conserver très longtemps les chevaux, mieux vaut, après une ou deux saignées partielles de 10 à 12 litres, les saigner à blanc avant que la baisse d'activité du sérum, inévitable au bout d'un temps assez prolongé, ne soit devenue sensible.

La préparation du vaccin anticoquelucheux réclame des soins particuliers en raison de la composition spéciale du milieu nutritif. La stérilisation des microbes par le chauffage n'est pas recommandable ; le vaccin est nettement plus efficace lorsqu'il consiste en une suspension bacillaire stérilisée par le phénol à 0,5 %. Appliqué au début de la période des quintes caractéristiques, le traitement vaccinothérapique consistant en six injections pratiquées tous les deux jours, amène, d'habitude huit ou dix jours après la première injection, une diminution frappante du nombre des quintes et de leur intensité. La durée de la maladie est manifestement raccourcie, les risques de complications s'amoindrissent.

L'activité purement scientifique de l'Institut s'est orientée vers diverses questions. On y a longuement étudié le problème du bactériophage ou de l'autolyse microbienne transmissible. Dès 1920, la théorie de Bordet et Ciuca, développée ensuite par Bordet, Bordet et Renaux, Gratia, s'est opposée à la théorie de d'Hérelle, d'après laquelle la lyse est provoquée par un virus invisible intrabactérien. A l'Institut Pasteur de Bruxelles, on admet que les principes lytiques sont élaborés non par un virus parasite, mais par les bactéries elles-mêmes, qu'ils puisent leur origine dans la physiologie bactérienne, qu'ils jouent selon toute vraisemblance un rôle utile dans le fonctionnement des bactéries qui primitivement et spontanément les pro-

duisent, tout en pouvant se montrer pernicieux pour des bactéries différentes des premières, c'est-à-dire appartenant à d'autres espèces ou à d'autres variétés de la même espèce. On a pu démontrer en effet qu'au sein d'une même espèce bactérienne, la variabilité permet l'apparition de types suffisamment distincts pour être capables de manifester les uns envers les autres un antagonisme prononcé dont les principes lytiques sont l'instrument. Ceux-ci impressionnent les types réceptifs, lesquels, grâce à une sélection adaptative, se modifient fréquemment sous cette influence, de sorte que le conflit entre les divers types intervient d'une façon très appréciable dans l'évolution de l'espèce en assurant la prédominance de certaines variétés. Les différences qui séparent des espèces bactériennes diverses ou diverses variétés d'une même espèce marquent de leur empreinte les principes lytiques que ces espèces ou ces races sont respectivement capables de produire, et l'on conçoit ainsi qu'il puisse exister un nombre considérable de principes. Il résulte de ces considérations que le problème de la lyse transmissible et celui de la variabilité microbienne sont connexes, et c'est pourquoi on a été amené à l'Institut, à les étudier attentivement tous deux. Des travaux déjà anciens de Bordet et Sleeswyk avaient d'ailleurs démontré déjà qu'on peut obtenir, aux dépens d'une même espèce microbienne, des races sérologiquement différentes c'est-à-dire qui, injectées aux animaux, permettent l'obtention d'immunsérums qui ne sont pas identiques. Le rôle du calcium dans la variabilité a été récemment signalé par Bordet et Renaux et par P. Bordet.

La question des lipoïdes par rapport aux phénomènes d'infection et d'immunité mérite d'attirer l'attention à des points de vue divers. D'abord pour ce qui concerne une application pratique, celle du sérodiagnostic de la syphilis. Bordet et Ruelens ont formulé une technique permettant l'obtention d'une suspension lipoïdique fort appropriée à ce diagnostic, et qui contient, parmi les lipoïdes du cœur de veau, ceux qui sont solubles dans l'alcool et insolubles dans l'acétone. L'emploi de cet antigène pour le sérodiagnostic s'est généralisé dans de nombreux laboratoires belges et étrangers.

Mais l'étude des lipoïdes offre un très vif intérêt au point de vue de la spécificité d'ordre chimique dans le règne animal. Sordelli et Pico avaient eu le mérite de montrer que sans être antigènes à proprement parler, c'est-à-dire sans que leur injection soit apte à déclencher l'élaboration d'anticorps, les lipoïdes sont capables de réagir avec un anticorps obtenu par injection d'un complexe lipoïdo-protéique. Par exemple, si on injecte au lapin un broyage d'organes de cobaye, qui renferme de tels complexes, le lapin fournit un sérum qui flocule une suspension de lipoïdes extraits de ces organes par l'alcool. Dans ces conditions on pouvait se demander si les espèces animales peuvent être différenciées par leurs constituants lipoïdiques aussi bien que par leurs protéiques. L'expérience réalisée par Bordet et Renaux a répondu affirmativement. Par exemple, si l'on injecte à deux lapins respectivement des globules rouges de cobaye et de chèvre, chacun des deux sérums obtenus flocule exclusivement les lipoïdes (acétonoinsolubles et alcoolosolubles) extraits respectivement des stromas globulaires de

ces deux espèces animales. D'autre part, étant donné que de tels lipoïdes interviennent comme générateurs de la thrombine dans la coagulation du sang, Bordet, Renaux et P. Bordet ont montré que l'immunsérum correspondant qui les flocule supprime leur activité à cet égard.

Le mécanisme de la coagulation du sang a été étudié pendant plusieurs années à l'Institut ; la théorie de Bordet et Delange expliquant la formation du principe coagulant, la thrombine, par la réaction mutuelle de deux générateurs, le sérozyme venant du plasma, et le cytozyme, substance lipoïdique fournie essentiellement par les plaquettes mais existant dans de nombreuses cellules, est aujourd'hui généralement acceptée. Plus récemment, l'étude de la coagulation a été reprise par P. Bordet qui, se préoccupant notamment d'expliquer l'influence coagulante du chloroforme, a montré que le mode d'action de ce réactif concorde avec les prévisions que l'on pouvait inférer de la théorie ci-dessus rappelée.

Gratia a apporté des documents fort importants concernant le pouvoir lytique exercé sur de nombreuses bactéries par les sécrétions de streptothrix et de champignons inférieurs. Concernant l'incessante circulation des matériaux alimentaires dans le monde, il est acquis depuis longtemps que les déchets des animaux et des plantes, cadavres, produits résiduels, etc., sont minéralisés, solubilisés et conséquemment remis à la disposition de l'assimilation végétale grâce à l'activité nutritive de microorganismes tels que les champignons inférieurs et surtout les bactéries. Comme on l'a dit souvent, si les bactéries ne détruisaient pas les matières organiques provenant des êtres plus élevés, le monde ne serait bientôt qu'une vaste nécropole. Mais ce travail permanent des bactéries comporte leur incessante reproduction et l'on devait se demander comment il se fait que la quantité de matière microbienne que cette exubérante multiplication fait apparaître ne s'accroît pas indéfiniment. Pour que l'équilibre se maintienne, il faut bien que l'excès de bactéries disparaisse à son tour. Ce phénomène est assuré précisément grâce aux champignons inférieurs. Les streptothrix notamment manifestent un pouvoir lytique d'une frappante intensité. Des suspensions opaques de bactéries diverses se clarifient lorqu'on y ensemence divers streptothrix fort répandus dans l'atmosphère, dans l'eau ou dans le sol. Plusieurs moississures possèdent des propriétés analogues. D'intéressants essais poursuivis par Gratia concernent l'utilisation éventuelle à titre de vaccin, de bactéries pathogènes ainsi lysées par des streptothrix. De son côté, Jaumain a fait de curieuses constatations sur la propriété que possèdent les microbes vivants de se nourrir aux dépens de microbes morts de même espèce ; il a précisé les conditions propices à la manifestation de ce phénomène.

Un principe lytique d'origine tout différent mais fort intéresant au point de vue de l'immunité est le lysozyme découvert par Fleming et Allison dans diverses sécrétions, les larmes, le mucus nasal, le blanc d'œuf. Ce principe clarifie avec une énergie extraordinaire d'opaques suspensions de microbes appartenant à de nombreuses espèces banales répandues notamment dans l'atmosphère. L'organisme détruit ainsi les microbes saprophytes qui se déposent incessamment sur l'œil ou dans les fosses nasales.

J. et M. Bordet ont retrouvé ce même principe dans le lait de femme, il est fort abondant dans le colostrum. L'ingestion du premier lait immédiatement après la naissance joue sûrement un rôle important pour la désinfection des voies digestives du nourrisson. On comprend ainsi le danger que comporte la suppression d'emblée de l'allaitement maternel. Le lysozyme si abondant dans les larmes n'existe pas dans l'humeur aqueuse ; il n'y est pas nécessaire, ce liquide étant protégé contre les souillures par le rempart cornéen. Dans le blanc d'œuf ou le lait, le lysozyme perd son activité par chauffage à 65°, mais reste intact si avant de chauffer on acidifie légèrement ces liquides. M. Bordet qui a démontré ce fait, a fondé sur cette propriété des acides dilués un procédé d'extraction du lysozyme.

Le mécanisme intime de la floculation des lipoïdes et de l'absorption de l'alexine dans le sérodiagnostic de la syphilis a été minutieusement étudié par Renaux qui a donné le moyen d'éviter toute confusion entre les résultats du sérodiagnostic de la syphilis et ceux du sérodiagnostic de la tuberculose. D'autre part, cet auteur a précisé les conditions propices à la fixation de l'alexine par les complexes toxine-antitoxine en voie de floculation.

Le Fèvre de Arric a consigné de nombreuses observations sur les propriétés comparées du virus herpétique et du virus de l'encéphalite léthargique.

Le Fèvre de Arric et Millet ont étudié diverses substances médicamenteuses au point de vue de leur aptitude à se diffuser dans le liquide céphalorachidien. Ils ont constaté que certaines substances en franchissant la barrière vasculo-méningée favorisent la pénétration de certains virus dans le liquide céphalorachidien. C'est le cas par exemple de l'urotropine et du virus herpétique.

Soumettant à la critique les conceptions récentes concernant l'immunité dite locale, Gratia a obtenu divers résultats expérimentaux qui contredisent la thèse d'après laquelle l'immunité acquise réside souvent dans certaines régions bien délimitées de l'organisme, lesquelles se seraient immunisées grâce à leur activité propre. En réalité, les facteurs d'immunité générale, anticorps et phagocytes, se retrouvent dans tous les cas d'immunité acquise. La résistance plus prononcée que dans certaines conditions une région déterminée peut manifester résulte de ce qu'un afflux leucocytaire s'est effectué à ce niveau. Mais la résistance ainsi augmentée en ce point est passagère et n'est pas spécifique. Ce fait était connu pour ce qui concerne le péritoine, Gratia a montré qu'il se vérifie aussi pour le tissu cutané. Mais la persistance de l'immunité acquise et sa spécificité dépendent de la présence des anticorps protecteurs. Les recherches poursuivies à l'Institut par Tudoranu plaident dans le même sens.

PLAQUETTES SANGUINES ET RÉTRACTION DES CAILLOTS FIBRINEUX

par Jacques ROSKAM,

Professeur à l'Université de Liége

En provoquant la coagulation au sein de paraffine liquide, en goutte flottante, d'un mélange de plasma citraté ou oxalaté longuement centrifugé, de solution chlorurée calcique et de sérum chloroformique, j'avais cru montrer de façon convaincante que les plaquettes sanguines ou globulins ne sont nullement indispensables à la rétraction des gels fibrineux : alors que coagulé en tube à hémolyse, ce mélange, vierge de toute plaquette, ne manifeste aucune tendance spontanée à la synérèse, le caillot résultant de sa gélification en goutte flottante expulse en effet, en vingt-quatre heures, une quantité de sérum qui peut atteindre les cinq, les six, voire les huit douzièmes du volume du caillot primitif (1).

La rétraction des caillots sans plaquettes, formés en goutte flottante n'est pas liée, ainsi que M. Zunz avait pu le supposer (2), à l'emploi, comme agent coagulant, du sérum chloroformique. Le prouvent de nouvelles expériences effectuées en accélérant cette fois la coagulation du plasma citraté limpide recalcifié, par l'addition, au lieu de sérum chloroformique, d'une ou plusieurs gouttes d'une émulsion en eau distillée, de lécithine Givaudan-Lavirotte, de lécithine Kahlbaum ou de cytozyme isolé par la méthode de Bordet et Delange : alors qu'aucun des caillots formés au dépens de semblables mélanges dans des tubes à hémolyse, ne présente la moindre synérèse, tous les coagulums constitués en goutte flottante expulsent de notables quantités de sérum, représentant le plus souvent les quatre, les cinq, ou les six douzièmes du volume du caillot primitif, en atteignant parfois les huit douzièmes.

Et ceci plaide en faveur de la rétractilité *propre* des gels fibrineux formés en l'absence de plaquettes sanguines.

M. Zunz s'était toutefois demandé, malgré la multiplicité des témoins démontrant l'irrétractilité des caillots sans plaquettes formés en tube à hémolyse, malgré l'absence de tout élément figuré à l'examen microscopique de mes différents plasmas, « si le plasma citraté ou oxalaté, centrifugé pendant un laps de temps très long et à grande vitesse, est entièrement privé de globulins ou tout au moins de débris de ces cellules ». Il supposait ainsi que des globulins ayant échappé à la précipitation par

(1) J. Roskam, *Bull. Acad. Roy. de Médecine de Belgique*, 5e série, 7, 617-638 (1927).
(2) Zunz, *Bull. Acad. Roy. de Médecine de Belgique*, 5e série, 7, 538-540 (1927).

centrifugation ou des débris de plaquettes causaient, au cours de mes expériences, la synérèse des gels formés en goutte flottante.

Une série d'essais récents m'a permis de montrer qu'il n'en est rien.

Par injection de globulins isolés et lavés de lapin à une chèvre, j'ai préparé un sérum de chèvre anti-plaquettes de lapin extrêmement actif : à la dilution de 1 p. 50, voire de 1 p. 100, il éclaircit en effet du plasma citraté trouble de lapin, très riche en plaquettes sanguines, en même temps qu'il supprime toute rétraction *in vitro* du caillot formé aux dépens du plasma ainsi traité.

Or, ce sérum ajouté à du plasma citraté trouble, véritable émulsion dense de plaquettes, ou à du plasma qu'une longue centrifugation a rendu limpide, à la dose de 1 p. 100, voire 1 p. 10 et même 1 p. 5, n'entrave nullement la rétraction des caillots dérivant de ces plasmas par recalcification et addition de sérum chloroformique, et formés en goutte flottante : la quantité de sérum expulsée dans ces conditions est égale à celle qu'exprime un gel également formé en goutte flottante sans addition de sérum antiplaquette, aux dépens de plasma citraté limpide — et ceci me paraît prouver, de façon définitive cette fois, que la rétraction des gels fibrineux, toute favorisée qu'elle soit par la présence de plaquettes sanguines, peut s'effectuer en l'absence de ces éléments.

DE LA TENSION VEINEUSE RÉTINIENNE

par Dr Georges LEPLAT

En 1929, Dubar et Lamache attiraient à nouveau l'attention sur l'intérêt de la mesure de la tension dans la veine centrale de la rétine pour qui étudie la circulation rétinienne et encéphalique. Ils rappelaient la possibilité de mesurer dans cette veinule l'hypertension provoquée par le froid, par l'apnée, par la compression des jugulaires et signalaient y avoir observé de l'hypertension chez certains malades souffrant de céphalées gravatives, chez des mélancoliques ou dans des affections où la circulation cérébrale est en déséquilibre de régulation.

Les remarquables recherches de Bailliart qui mit au point la technique fidèle et aisée de sphygmomanométrie rétinienne, l'étude très détaillée d'Elliot, la thèse de Wiart aboutissent toutes à cette conclusion que, dans la rétine, la circulation veineuse est d'une étude plus complexe que la circulation artérielle.

On sait qu'au niveau de la papille optique la pression intraveineuse est très voisine du tonus oculaire, elle oscille légèrement et avec de faibles écarts au-dessus et au-dessous de celui-ci et peut donc être estimée égale à 22-25 mm. de Hg. Par la technique de Bailliart, qui utilise la compression du globe par un dynamomètre gradué, la mensuration est possible du chiffre minimum (apparition du pouls veineux) et du chiffre maximum (disparition du pouls veineux) pour autant que le pouls veineux existe spontané, ou apparaisse par la compression. En effet, si la moindre pression exercée sur l'œil efface la veine et qu'aucune pulsation n'apparaisse, aucune mesure n'est possible.

« Pratiquement, dit Bailliart, nous nous bornons à noter le chiffre de compression qu'il faut exercer pour éteindre le pouls veineux spontané ou pour faire apparaître le pouls veineux provoqué. Ce sont les seules mensurations qui puissent avoir chance d'être exactes. »

Mon but, dans cette note, est de montrer combien ces principes prudents doivent rester présents à l'esprit de celui qui étudie la circulation veineuse rétinienne. En effet, les très minimes différences tensionnelles à révéler sont délicates et les modifications que provoque la compression de l'œil par le dynamomètre entraînent des causes d'erreur qu'il faut connaître pour ne pas arriver à des conclusions absurdes. Et cela peut arriver quand on envisage la pulsation simultanée de l'artère et de la veine sur le disque papillaire, fait qui, à première vue, démontre certainement que la tension systolique dans la veine est supérieure à la tension diastolique artérielle.

Ce phénomène d'un pouls veineux et artériel observés simultané-

ment mais où l'expansion de l'artère alterne avec l'expansion de la veine, a intrigué BAILLIART et ELLIOT. Le premier pense que c'est là une conséquence d'un état de vasodilatation capillaire et veineuse rétinienne permettant la transmission de la vague sanguine au delà du réseau capillaire. ELLIOT croit qu'une disposition anatomique spéciale est nécessaire, qu'il faut qu'artère et veine courent parallèlement sur une certaine distance avant de s'enfoncer dans le nerf (p. 465); l'auteur anglais a minutieusement étudié le mécanisme complexe qui fait apparaître ou disparaître le pouls veineux en comprimant le globe oculaire, en cessant la compression ou en reprenant une compression interrompue, pour arriver à la conclusion que la façon dont la pression artérielle peut agir sur l'expansion de la veine est entièrement obscure (p. 497).

Ce que m'ont appris mes tentatives pour comprendre ce phénomène est tout entier condensé dans l'observation typique d'un cas favorable et longuement étudié :

Van H. Fr., 25 ans. Tension humérale 90-140 mm. Hg., tension artérielle rétinienne 35-92 mm. Hg. Tension oculaire 19-20 mm. Hg. présente un pouls veineux spontané à ondulation molle, à peine marquée, qui s'amplifie dès le contact du dynamomètre sur l'œil, s'efface à la pression de 20 gr. mais pour réapparaître si la compression est maintenue (le tonus oculaire s'abaissant un peu). Si la compression est augmentée, le pouls veineux, sans plus s'effacer, persiste quand le dynamomètre marque 40 gr., à ce moment l'artère pulse à son tour, les deux pulsations alternent. Le pouls veineux change d'allure, d'ondulant et lent il devient brusque et fort. La compression est accrue progressivement et atteint, en une minute, 95-100 gr., le pouls veineux persiste à côté du pouls artériel jusqu'à ce dernier chiffre où ils s'effacent ensemble. Le rythme de l'alternance des deux pulsations s'est progressivement modifié ; le pouls veineux succédant plus immédiatement à l'expansion artérielle au lieu d'alterner régulièrement avec elle. A la fin de l'expérience le tonus oculaire mesuré au tonomètre de Schiötz est descendu à 15 mm. Hg.

Cette observation a été répétée maintes fois sur ce sujet et sur d'autres dont j'ai les protocoles. Tous les sujets favorables sont jeunes, de dix à trente ans. Suivant les individus examinés mais surtout suivant la lenteur de la compression exercée sur l'œil on peut souvent maintenir le pouls veineux à des pressions intraoculaires si élevées qu'il est évident que cette pulsation ne témoigne plus de la tension intraveineuse mais représente autre chose.

J'ai mesuré soigneusement au tonomètre l'hypotonie oculaire que pouvait provoquer les lentes compressions de 10 à 100 gr. pendant une à trois minutes et n'ai jamais trouvé que des dénivellations de 5 à 6 mm. Hg. J'ai, de plus, trouvé confirmation de ce fait par un autre procédé où je prenais la tension artérielle rétinienne comme critérium, la considérant comme immuable dans le court délai de deux mensurations séparées par deux minutes. Par exemple, si on provoque le pouls artériel dans un

œil de 20 mm. Hg. de tonus avec une pression de 30 gr. du dynamomètre on peut conclure des tables de Magitot et Bailliart que la tension artérielle rétinienne diastolique est de 35 mm. Hg. Inversement si, après une compression lente, nous voyons apparaître la pulsation artérielle sous une pesée de 40 gr. nous pouvons conclure que pour la même tension artérielle de 35 mm. Hg. ce chiffre de 40 correspond à une tension oculaire de 15 mm. Hg.

Ces pressions démontrent que chez l'homme les pesées exercées ne provoquent pas, comme Bonneton l'a décrit chez le lapin, des hypotonies considérables du globe oculaire. Le facteur hypotonie oculaire est donc accessoire.

La variété très grande des faits observés d'un sujet à l'autre complique le problème, le pouls veineux secondaire étant maintenu tantôt jusque 30 gr. tantôt jusque 80 ou 95 gr. de pesée.

La pulsation directement transmise du tronc artériel au tronc veineux est une hypothèse qui doit être écartée ; le fait qu'une artère croise une veine n'a pas d'influence. Les recherches très minutieuses d'Elliot sur ce facteur avaient démontré qu'il ne pouvait être retenu.

Deux faits me paraissent devoir être remarqués : le caractère de l'expansion veineuse et le rythme relatif des pulsations artérielle et veineuse qui alternent. L'un et l'autre se modifient tandis que la pesée est accrue. Le pouls veineux vrai, primitif, spontané ou provoqué, est onduleux et lent, il s'étend ou peut s'étendre jusqu'au tronc de la veine centrale. Quand la compression est plus forte le pouls veineux vrai est effacé, les veines sont fermées au niveau de l'angle qu'elles font sur le disque papillaire et le va-et-vient du sang qui remplit les branches devient plus brusque, plus bref, d'allure plus artérielle si l'on peut ainsi dire.

D'autre part, alors que le pouls veineux vrai, primitf, alterne avec les premières pulsations artérielles, on voit, au fur et à mesure que la pesée est accrue, le mouvement veineux suivre plus immédiatement le coup de piston dans l'artère et tendre à se synchroniser avec lui pour enfin disparaître, parfois, ensemble (cas Van H.) (le plus souvent le pouls veineux s'efface avant que la tension artérielle systolique ne soit atteinte). Ajoutons à ces deux données que les individus favorables à cette étude sont tous jeunes et que chez eux la sclérotique est très élastique.

Je suis donc tenté de conclure que le pouls veineux vrai, celui qu'a envisagé Bailliart dans les principes énoncés plus haut, s'efface sous une pesée surajoutée à la tension endoculaire, de 10, 15, 20 gr. suivant le niveau de la pression veineuse systolique mais que, sous la compression progressive, la branche veineuse observée, écrasée à son coude, traduit, par les mouvements de la limite du sang qu'elle contient, les oscillations infra minimales de l'artère centrale qui ne sont pas encore perceptibles directement mais qui sont transmises au biseau de sang veineux bien équilibré dans le tambour si souple de la veine écrasée. Enfin, quand l'expansion artérielle se fait nette, le mouvement de sang veineux traduit l'oscillation endoculaire mieux que le levier du tonomètre, comme

un oscillomètre endoculaire, avec un retard dû à la transmission par l'intermédiaire de la masse vitréenne et à l'élasticité de la coque oculaire, retard qui diminue au fur et à mesure que cette élasticité atteint sa limite sous l'influence de la pesée.

Il semble bien qu'une disposition anatomique un peu spéciale soit nécessaire pour permettre l'observation de ces faits qui n'est pas possible dans tous les yeux. Cet élément inconnu et la variabilité des réactions d'un individu à l'autre réduisent certes la valeur positive des chiffres qui peuvent être relevés au cours de semblables mensurations mais il paraît utile néanmoins de connaître les éléments qui peuvent devenir des causes d'erreurs dans la sphygmomanométrie rétinienne. Cette étude a déjà donné de trop beaux résultats dans l'étude de la circulation artérielle pour qu'on ne puisse attendre et espérer par elle des progrès dans la connaissance de la circulation veineuse rétinienne et cérébrale ; mais il importe de connaître les ressources et les défauts d'une technique délicate, ne pas prendre un pouls artériel transmis à la veine pour une pulsation veineuse vraie.

BIBLIOGRAPHIE

Bailliart, *Ann. d'Ocul.* (1917-1918) et *La circulation rétinienne* (1923).

Bonnefon, *Ann. d'Ocul.* (1921).

Dubar et Lamache, *Soc. franç. d'Opht.* (mai 1929).

Elliot, *British Journ. of Opht.* (1921).

Magitot et Bailliart, *Ann. d'Ocul.* (1919).

Wiart, Thèse de Paris 1920.

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DU MÉTABOLISME CALCIQUE
CITRATES ET EXCRÉTION URINAIRE DU CALCIUM

par R. POVERMAN et L. BRULL

(*Labor. de Recherches de la Clinique Médicale de l'Université de Liége*)

La majorité des études sur les citrates faites jusqu'en ces temps derniers ont eu un objectif d'ordre purement pharmacologique. On peut trouver une revue en question jusqu'en 1916 dans le travail de SALANT et WISE (1). On admet que les citrates sont toxiques, qu'ils soient introduits par la voie buccale, sous-cutanée ou intraveineuse, mais que cette toxicité va en croissant depuis le premier mode d'administration jusqu'au dernier. Après leur pénétration dans l'organisme, une part des citrates est oxydée dans les tissus, une autre partie peut être excrétée par le rein. Le reste produit des phénomènes toxiques de gravité variable suivant les doses ; ces phénomènes consistent en spasmes, tétanie, arrêt du cœur ; l'administration intestinale peut provoquer la diarrhée. Est-il besoin de dire que cette toxicité s'interprète aisément à la lumière de nos connaissances touchant l'action des citrates sur les composés calciques ? SABATTANI (2) a attiré l'attention sur le fait que l'ion citrique forme avec les sels calciques des radicaux complexes englobant le Ca pour le supprimer en tant qu'ion calcique. Ce fait vient de trouver une nouvelle confirmation dans les mesures de conductivité des solutions calciques citratées par SHEAR, KRAMER et RESNIKOFF (3). Les citrates agissent donc par désionisation calcique ; cette désionisation ne va de pair avec une précipitation que pour de fortes concentrations de citrates ; c'est ainsi que dans le sang elle peut être quasi-complète sans précipitation calcique.

Mais l'intérêt de l'ion citrique n'est pas seulement d'ordre pharmacologique. On savait depuis longtemps que le lait contient des citrates, mais nous ne savons pas pourquoi et comment la cellule mammaire fait de l'acide citrique. Les récentes études de THUNBERG et son école (4) ont montré qu'il n'y a pas que le lait qui contienne de l'acide citrique, mais qu'on en trouve dans presque toutes les humeurs et même le sang. D'après Thunberg aussi on trouve aussi dans l'urine 0,25 à 1,80 pour mille d'acide citrique.

(1) SALANT et WISE, *Journ. Biol. Chem.*, **28**, 27 (1916-1917).
(2) SABATTANI, *Arch. Ital. Physiol.*, **36**, 397 (1901).
(3) SHEAR, KRAMER et RESNIKOFF, *Journ. Biol. Chem.*, **83**, 721 (1929).
(4) THUNBERG, XIIe Cong. Int. de Physiol., *Am. Journ. Ph.* (1929).

Une question est de savoir si la présence de cet acide dans les humeurs et les sécrétions peut avoir de l'importance au point de vue du métabolisme calcique. L'un de nous a montré ([5]) qu'une petite fraction du Ca plasmatique (1 mg. au moins sur 10 mg. %) existe vraisemblablement sous forme d'un radical complexe analogue à celui que forre l'ion citrique avec les composés calciques; pareils complexes, lorsqu'ils se trouvent dans le plasma, sont ultrafiltrables, ils sont biologiquement inactifs et inutilisables, et ils sont rapidement excrétés par le rein. Lorsqu'on injecte des citrates dans la veine, en même temps qu'on voit augmenter la proportion de Ca ultrafiltrable dans le plasma, il se produit de fortes décharges de Ca par le rein. Or, le rein n'excrète le Ca que lorsqu'il se trouve sous cette forme, qui ne paraît d'ailleurs plus utilisable par l'organisme. Le rein n'excrète donc qu'un Ca déchet. La confrontation de ces recherches avec celles de Thunberg a posé la question de savoir *si, et jusqu'à quel point, la présence des citrates dans l'organisme et dans l'urine est la cause de l'excrétion urinaire du Ca.*

Le présent travail constitue l'une des étapes de la vérification de ce problème. Il s'agissait de *savoir si les citrates administrés par les voies sous-cutanée et intestinale peuvent influencer l'excrétion du Ca comme le fait l'injection intraveineuse.*

Les expériences, au nombre de six, sont faites sur des chiens. Les animaux sont placés dans des cages à métabolisme. Pour faciliter le calcul des doses de Ca administrées, le régime est uniquement constitué de viande de cheval et d'eau distillée à volonté. Ce régime est pauvre en Ca et on sait qu'il peut en résulter des pertes de chaux. Cela importe peu en cette occurrence, où l'on veut se rendre compte uniquement de l'importance relative des éliminations calciques avant et pendant l'administration de citrates. Un plus grand inconvénient de ce régime est la constipation qu'il entraîne, ce qui fait que dans une expérience sur quatre seulement, nous avons pu faire une analyse de matières fécales avant et pendant la période de citrates.

Les dosages de Ca sont faits tous en double dans la viande et les matières fécales après combustion sèche, (méthode de Stolte), dans les urines directement par précipitation oxalique en milieu acétique et dosage manganométrique.

Les résultats expérimentaux se trouvent condensés dans le tableau suivant :

([5]) Bruil, *Arch. Int. Phys.*, **27**, 138 (1930).

N° de l'exp.	Nombre de jours	Sérum mg. Ca %	Urines		Ca ingéré	Dose de citrate administrée
			Volume	Ca total mg.		
I.	2	—	204	26,15	20,6	—
	3	—	255	44,63	20,6	0,45 gr. par kg. sous la peau
III.	8	12,2	186	11,20	30,9	—
	3	10,0	405	70,60	30,9	0,70 gr. par kg. sous la peau
IV.	13	7,8	158	15,03	30,9	—
	4	6,6	296	62,30	30,9	0,70 gr. par kg. sous la peau
V.	5	10,6	343	51,51	30,9	—
	3	10,2	453	61,31	30,9	0,70 gr. par kg. *per os*
						—
VI.	5	11,2	402	36,70	30,9	1,50 gr. par kg. *per os*
	3	10,1	570	74,15	30,9	

Le chien n° II pesant 5,7 kg. fut trouvé mort 3 heures après l'injection sous-cutanée de 5 gr. citrate à 10 %.

Nous n'avons pu établir des bilans complets, à cause de l'irrégularité des selles. Nos chiens enfermés, avec un régime purement carné, étaient constipés ; les selles étaient évacuées avec des retards tels qu'il eût été difficile de les attribuer à une période déterminée.

Discussion des résultats

Un premier point à noter, est l'augmentation de la diurèse sous l'influence de l'administration du citrate, surtout par voie sous-cutanée. Cette augmentation, peu considérable pour une dose de l'ordre de 0,5 gr. par kg., peut être de l'ordre du triple avec une dose d'un gramme. Il n'y a là rien de spécial au citrate. Cependant, il faut en tenir compte parce que l'un de nous a démontré qu'au cours des polyuries salines la concentration urinaire du Ca ne varie guère, d'où il résulte des variations du débit calcique parallèles à celles du volume urinaire.

Cependant en l'occurrence, les variations de débit calcique sont d'un ordre de grandeur supérieur à celles de la diurèse. Dans l'expérience I, la diurèse ne varie guère et le débit calcique est presque doublé ; dans l'expérience III, la diurèse n'est pas triplée et le débit calcique est multiplié sept fois ; dans l'expérience IV, la diurèse est à peine doublée, le débit calcique est quadruplé.

Des deux expériences au citrate *per os*, l'une ne montre guère d'effet du citrate ; la dose de 0,75 gr. par kg. est trop faible ; une dose à peu près deux fois plus forte double le débit calcique alors que la diurèse n'est augmentée que de 30 %.

Enfin, un troisième point à noter, c'est qu'aussi bien l'ingestion que l'in

jection sous-cutanée de citrate abaisse la calcémie. Malgré cet abaissement, nous assistons à de fortes décharges urinaires de calcium.

En somme, malgré l'abaissement de la calcémie totale, l'administration sous-cutanée ou orale de citrate trisodique provoque des décharges urinaires de Ca, qui ne s'expliquent pas par la seule polyurie. Nous retrouvons ainsi, quoiqu'à un degré moindre, le même phénomène décrit par l'un de nous pour l'injection intraveineuse de citrate. Quelque soit le mode d'administration, et à condition que les doses soient suffisantes, le citrate sodique provoque des pertes urinaires anormales de Ca.

Les doses efficaces sont de l'ordre de 0,50 gr. par kg. sous-cutanées, et à peu près doubles *per os*. Ces quantités ne sont pas loin des doses toxiques, puisqu'un de nos animaux a succombé avec plus ou moins 90 cg. sous la peau, ce qui confirme les données de Salant et Wise sur le lapin (*loc. cit.*).

Salant et Wise ont observé qu'une partie des citrates injectés sont éliminés dans l'urine. D'autre part, Thunberg trouve dans l'urine d'homme normal 0,25 à 1,8 d'acide citrique pour mille. L'administration de citrates ne fait donc qu'accroître l'excrétion urinaire normale d'acide citrique. L'augmentation d'excrétion calcique à la suite d'administration de citrates, le fait que le rein n'excrète le calcium que lorsqu'il est sous la forme d'un complexe tel le complexe critique, enfin la présence de citrates dans l'urine normale, suggèrent l'hypothèse que les citrates jouent normalement un rôle dans l'élimination urinaire du calcium.

En résumé, l'administration buccale ou sous-cutanée de citrate trisodique, tout en abaissant la calcémie, peut entraîner des débâcles urinaires de calcium.

L'attention est attirée sur la signification possible des citrates dans le métabolisme calcique.

RÉGULATION DE LA GLYCÉMIE ET RELATIONS ENTRE LES SÉCRÉTIONS EXTERNE ET INTERNE DU PANCRÉAS

par Edgard ZUNZ,
Professeur à l'Université de Bruxelles.

Peu après que von Mering et Minkowski eurent constaté l'installation d'un diabète sucré intense après l'extirpation totale du pancréas, Raphaël Lépine attribua à cette glande, outre sa fonction digestive, une intervention dans la régulation de la glycémie par une sécrétion interne. Laguesse, au cours d'une étude histologique sur les îlots de Langerhans, émit, en 1893, l'opinion qu'un rôle endocrine était dévolu à ces formations glandulaires spéciales. De multiples essais furent bientôt effectués dans le but de rechercher si les îlots endocrines du pancréas déversent dans le sang une substance régulatrice du métabolisme des glucides. L'isolement de l'insuline par Banting et Best a apporté en 1922 la preuve définitive de l'existence d'une sécrétion endocrine pancréatique.

Il importait de se rendre compte de l'importance de l'insulinemie physiologique et de ses variations dans les diverses circonstances qui tendent à modifier la glycémie normale. On y parvient par la méthode de l'anastomose pancréatico-jugulaire qui consiste à relier la veine pancréatique principale d'un chien donneur, chloralosé, à la jugulaire d'un congénère, chloralosé. On détermine les taux en sucre sanguin des deux animaux puis on laisse s'écouler 100 à 150 cc. de sang en vingt à trente minutes du donneur vers le réactif, ce qui ne modifie pas de façon appréciable les tensions artérielles des chiens en anastomose. On sépare les deux animaux et l'on détermine leurs glycémies à divers moments pendant trois à quatre heures.

Prenons comme réactif un chien rendu diabétique par extirpation du pancréas, maintenu en bon état par une injection quotidienne de 3 à 4 unités d'insuline. Cessons l'administration de cette hormone et attendons quarante-huit heures environ. A ce moment, le taux en sucre s'élève d'ordinaire en quatre heures de 200 à 400 mg. et parfois même davantage. Si l'on injecte dans la jugulaire de cet animal 100 à 150 cc. de sang carotidien d'un congénère normal, l'élévation graduelle de la glycémie s'atténue. Mais si l'animal diabétique reçoit le sang veineux pancréatique d'un chien normal, on observe pendant une heure et demie à trois heures une chute marquée de la glycémie, due à l'arrivée d'insuline chez le chien dépancréaté, suivie d'un retour progressif vers l'hyperglycémie initiale. La Barre a démontré de cette manière la réalité de l'insulinémie physiologique.

La Barre a ensuite établi que la stimulation du bout périphérique du vague droit d'un chien donneur décapsulé provoque une hypersécrétion

d'insuline, mise en évidence par l'état d'hypoglycémie qui s'installe, sous l'influence de la transfusion pancréatico-jugulaire, chez un chien récepteur à glycémie normale privé au préalable de ses capsules surrénales.

Il est nécessaire de procéder dans ces expériences à la décapsulation bilatérale de l'animal dont on excite le pneumogastrique, car Tournade, Chabrol et Taditch ont décelé, par la méthode d'anastomose surrénalo-jugulaire, l'arrivée d'une grande quantité d'adrénaline dans le sang peu de temps après la stimulation du bout périphérique du vague. D'autre part, toute insulinémie marquée entraîne une hyperadrénalinémie qui tend à s'opposer à un abaissement excessif du taux en sucre sanguin ; la surrénalectomie préalable de l'animal réactif permet donc de reconnaître plus aisément une augmentation de la teneur en insuline du sang veineux pancréatique.

Avec La Barre, j'ai recherché si l'hyperglycémie et l'hypoglycémie retentissent sur la décharge d'insuline dans le sang veineux pancréatique.

On sait que l'injection intraveineuse d'une quantité abondante de dextrose détermine une hypoglycémie secondaire. Celle-ci est due à une exagération de la décharge d'insuline dans le sang veineux pancréatique, comme on le prouve en provoquant une hyperglycémie par injection intrasaphène de 50 à 60 cm^3 de solution de dextrose à 20 % chez un chien chloralosé de 15 à 20 kg. Un animal réactif, chloralosé et décapsulé, recevant ce sang veineux pancréatique montre, en effet, une chute intense du sucre sanguin.

La section sous-cardiaque des vagues et l'atropinisation empêchent cette augmentation de la teneur en insuline du sang veineux pancréatique. Elle ne peut donc reconnaître pour cause primitive une stimulation des extrémités pneumogastriques du pancréas. On est dès lors amené à se demander si l'exagération du fonctionnement endocrine de la glande ne dépend pas d'une excitation partant des centres nerveux supérieurs et empruntant la voie des vagues. En combinant la technique de la « tête isolée » de J. F. Heymans et C. Heymans à celle de la transfusion pancréatico-jugulaire, on démontre qu'il en est bien ainsi.

Les centres nerveux supérieurs réagissent à l'hyperglycémie produite par une injection massive de dextrose, en amenant, par l'intermédiaire des pneumogastriques, une hyperinsulinémie compensatrice. L'organisme peut encore mettre en jeu un second mécanisme compensateur de l'hyperglycémie, c'est une modération de l'adrénalino-sécrétion.

Peu après l'injection d'un milligramme d'adrénaline dans la veine fémorale d'un chien de 15 à 20 kg., on voit survenir une accentuation compensatrice de la teneur en insuline du sang veineux pancréatique, tendant à abaisser la glycémie pour la ramener à son taux normal. En même temps la décharge d'adrénaline dans le sang veineux surrénal diminue, comme Tournade et Chabrol l'ont prouvé.

L'antagonisme entre l'adrénaline, hormone accroissant la glycémie, et l'insuline, hormone diminuant la teneur en sucre du sang, intervient donc dans les états d'hyperglycémie pour assurer le maintien à l'état nor-

mal du taux à peu près constant du sang en dextrose. Cet antagonisme manifeste encore ses effets utiles lors d'une hypoglycémie excessive.

Le taux du sang en glucose s'accroît non seulement par l'adrénaline, mais aussi par l'extrait rétrohypophysaire et plus spécialement par sa portion hypertensive (pitressine de Kamm et ses collaborateurs). Or, l'injection intraveineuse d'extrait rétrohypophysaire entraîne une exagération de la décharge d'insuline dans le sang veineux surrénal. Cette hyperinsulinémie tout comme celle qui se produit après l'injection d'adrénaline, n'est pas empêchée par la section des vagues ou l'atropinisation. L'antagonisme entre l'extrait rétrohypophysaire et l'insuline semble donc jouer dans les mêmes circonstances que celui entre l'adrénaline et l'hormone pancréatique.

Ce dernier antagonisme manifeste ses effets utiles non seulement lors d'une hyperglycémie trop considérable, mais aussi d'une hypoglycémie excessive.

Cannon, Mc Iver et Bliss ainsi que d'autres auteurs ont signalé que l'injection d'insuline entraîne une décharge d'adrénaline dès que le taux en sucre du sang descend à un niveau dangereux pour l'organisme. En même temps la teneur en insuline du sang veineux pancréatique diminue. Cette frénation de la décharge d'insuline contribue au relèvement de la glycémie anormalement abaissée. Afin d'observer ce phénomène, il convient d'attendre, pour procéder à la transfusion pancréatico-jugulaire, que l'animal donneur soit devenu nettement hypoglycémique sous l'influence de l'injection sous-cutanée d'une dose massive d'insuline, effectuée quelques heures plus tôt. Dans ces circonstances, l'hyperglycémie du chien réactif, dépancréaté et chloralosé, ne diminue pas après la transfusion pancréatico-jugulaire. On fait la même constatation en abaissant la glycémie du donneur par la décaméthylènediguanidine, agent pharmacologique qui agit en partie en excitant la sécrétion endocrine du pancréas. La diminution du sucre sanguin provoquée par l'insuline ou la décaméthylènediguanidine a l'inconvénient de se produire lentement et d'amener une frénation de l'incrétion pancréatique qu'on n'est pas en droit d'attribuer uniquement à l'hypoglycémie. Il n'en est plus ainsi si la réduction du taux en sucre sanguin est déterminée par l'hépatectomie. Les centres nerveux supérieurs réagissent à l'hypoglycémie obtenue par ce procédé en modérant, par l'intermédiaire des vagues, la décharge d'insuline dans le sang veineux pancréatique.

Les résultats qui viennent d'être relatés semblent montrer que des centres glycorégulateurs interviennent dans l'excitation et la frénation de la fonction insulinienne. Celle-ci dépend à la fois d'un mécanisme humoral et d'un mécanisme nerveux.

Ce dernier entre en jeu lors de l'exagération de la décharge d'insuline consécutive à l'injection intraveineuse de dextrose et de décaméthylènediguanidine. Au contraire, l'excitation de l'insulinosécrétion due à l'adrénaline et à l'extrait rétrohypophysaire ne paraît pas reconnaître une origine vagale, mais semble essentiellement due à un mécanisme humoral.

Arrivons-en maintenant aux relations entre les sécrétions externe et

interne du pancréas. Introduisons en cinq à dix minutes 50 à 100 cm³ de solution diluée d'acide chlorhydrique (5 à 8 pour mille) dans le duodénum d'un chien chloralosé et décapsulé dont on a lié le canal pancréatique accessoire, dont on recueille le suc pancréatique par une canule placée dans le canal excréteur principal de la glande et dont la veine pancréatique principale est reliée à la jugulaire d'un congénère, chloralosé et décapsulé. La transfusion pancréatico-jugulaire commence en même temps que l'acide se déverse peu à peu dans le duodénum et dure en tout vingt à trente minutes. Quand la sécrétion de suc pancréatique est suffisamment abondante, la glycémie du chien réactif s'abaisse, décelant une exagération de la décharge d'insuline ; ce phénomène persiste après la section sous-cardiaque des pneumogastriques. Quand la sécrétion de suc pancréatique est faible, la glycémie du chien réactif ne subit pas ou guère de variations. Il en est de même si l'on introduit de la solution physiologique dans le duodénum (sans déclencher naturellement aucune sécrétion exocrine pancréatique).

On obtient des résultats tout à fait analogues au moyen de certaines préparations de sécrétine non hypotensive et très succagogue, tandis que d'autres échantillons de sécrétine purifiée déclenchent un abondant flux de suc pancréatique sans retentir sur la glycémie et la décharge d'insuline.

Rien ne prouve encore à l'heure actuelle qu'il faille attribuer, dans les préparations de sécrétine à action hypoglycémiante, au même composé les effets sur la sécrétion de suc pancréatique et sur le taux en sucre sanguin.

La Barre et Destrée ont recherché si les états d'hyperglycémie et d'hypoglycémie influencent la sécrétion externe du pancréas provoquée par une injection intraveineuse lente de sécrétine. Ils ont reconnu que l'hyperglycémie des centres nerveux supérieurs consécutive à l'injection intrasaphène d'une dose massive de glucose entraîne, par stimulation du système nerveux parasympathique, une augmentation de la quantité de suc s'écoulant par la canule placée dans le canal pancréatique principal.

Au contraire, lors des états d'hypoglycémie (provoqués par l'insuline, la décaméthylènediguanidine ou l'hépatectomie), les centres nerveux supérieurs réagissent en modérant, par l'intermédiaire des vagues, l'écoulement du suc pancréatique. L'injection intraveineuse de décaméthylènediguanidine provoque parfois une hyperglycémie transitoire ; pendant cette phase hyperglycémique la quantité de suc pancréatique augmente, tout comme après l'injection intraveineuse de dextrose, pour diminuer quand l'hypoglycémie s'est installée.

Ce qui précède démontre les interrelations évidentes entre les fonctions exocrine et endocrine du pancréas et réciproquement, mais il se pourrait que le retentissement d'une fonction sur l'autre soit dû à des facteurs indirects. Il est impossible pour le moment de se prononcer à ce sujet. On doit se borner aux constatations suivantes : Les variations de la glycémie influencent dans le même sens l'excrétion et l'incrétion pancréatique. L'introduction d'acide chlorhydrique dans le duodénum ne se borne pas à déclencher un flux de suc pancréatique, mais retentit aussi sur la fondation insulinienne.

APERÇU SUR LES RÉCENTES RECHERCHES FAITES À L'INSTITUT BACTÉRIOLOGIQUE DE LOUVAIN

par le Dr R. BRUYNOGHE,

Professeur à l'Université de Louvain

Etant donné que notre activité s'est déployée dans des domaines différents, nous envisageons séparément nos recherches suivant qu'elles se rapportent à la bactériologie, à l'immunologie et à la parasitologie. Nous résumons dans un dernier paragraphe nos travaux relatifs à l'étude des bactériophages.

Bactériologie. — En dehors de deux notes descriptives de microbes publiées par notre assistant actuel, M. Adant, nous n'avons pas de travaux à relater qui intéressent directement la bactériologie.

Les quelques publications que nous résumons dans ce paragraphe concernent l'étude des propriétés des microbes et l'influence exercée sur eux par le radon.

Nous avons décrit une souche de *B. Typhosus* exerçant un antagonisme évident à l'égard de certaines variétés de *B. Coli*. En effet, les filtrats de ladite culture inhibaient le développement des colibacilles en question par une action distincte de celle des bactériophages.

Brutsaert a étudié au point de vue de la thermostabilité la parenté antigénique des bacilles typhiques et paratyphiques. Il a étendu ses recherches à d'autres microbes, notamment aux vibrions du choléra, aux staphylocoques et aux *B. pyocyaneus*. Il a fourni ainsi la preuve que les microbes étudiés contiennent plusieurs antigènes dont les uns sont détruits sous l'effet de la chaleur, les autres conservés intacts. Les récentes recherches de Landsteiner et Fürth ont confirmé ces faits et ont fourni en outre de nouvelles précisions concernant la nature chimique de l'antigène thermostabile de ces microbes.

Schockaert a fait une étude des caractères de culture de la bactéridie charbonneuse et d'après l'aspect des colonies a distingué les cultures en deux variétés : la variété « smooth » et la variété « rough ». Il a précisé le pourcentage de mutations des variétés les unes dans les autres dans les conditions ordinaires de culture et sous l'effet des sérums normaux et spécifiques anti S. et anti R. D'une manière générale sous l'effet de ces derniers, la mutation est accélérée et facilitée et elle se fait, conformément aux observations de Griffith relatives aux pneumocoques, vers la variété non correspondante au sérum additionné au milieu de culture.

En soumettant des microbes mobiles à l'action de radon (émanation du radium) nous avons constaté que ceux-ci perdent, quand l'irradiation a été suffisante, la propriété de se multiplier dans les milieux de culture, tout en conservant intacte leur mobilité. Ce fait confirmé par Fischer et Wohlers établit d'une façon évidente l'action élective du radon sur les constituants de la cellule présidant à la division et il nous permet de comprendre jusqu'à un certain point l'influence du radium sur les cellules néoplasiques.

Cette action élective fut également observée chez divers parasites

En effet, comme nous l'avons établi en collaboration avec Dubois les parasites perdent sous l'effet de cette irradiation la propriété de se multiplier, tout en conservant leur mobilité.

Leur inaptitude à la multiplication fut contrôlée pour les parasites cultivables (*Tr. inopinatum, Tr. ictero-hemorragiœ, Leishm. tropica*) par l'essai de culture et pour ceux, qui ne se développent pas *in vitro*, par l'inoculation d'animaux réceptifs.

Immunologie. — Nous avons fourni quelques contributions à l'étude des iso-agglutinines. Staquet a étudié entre autres les lois qui régissent la transmission à la descendance de l'agglutinogène des parents. Grâce au nombre de familles examinées il a fourni une preuve importante en faveur de l'emploi de la méthode dans la médecine légale et notamment à la recherche de paternité.

N. Collon a examiné la formation des agglutinines et des agglutinogènes chez le fœtus et le comportement des isoagglutinines de la mère vis-à-vis des agglutinogènes du fœtus. Les résultats de ses recherches contestés en partie par Hirszfeld ont été confirmés et précisés par Liedberg.

Au cours de notre séjour à la colonie, nous en avons profité pour déterminer en collaboration avec P. Walravens l'indice biologique de la population noire du Katanga.

Enfin, dans ces derniers temps Schockaert a recherché dans la population belge la répartition des agglutinogènes M et N et il a en outre établi que lesdits antigènes apparaissent d'une manière précoce chez le fœtus, étant donné qu'il les a décelés dans leur sang dès le troisième mois.

Nous nous sommes appliqués à préciser le mécanisme de certaines réactions et à compénétrer quelque peu l'essence de la spécificité des antigènes, notamment des protides.

Schockaert a élucidé la nature de l'antigène insolubilisé dans la réaction d'Ascoli. Il s'agit en l'espèce d'une substance hydrocarbonée comparable à celle mise en évidence dans les pneumocoques par les auteurs américains.

En effet, les extraits d'organes charbonneux, débarrassés par l'acide acétique ou l'acide tungstique de toute trace de protides, réagissent à l'égard du sérum anticharbonneux aussi bien que les mêmes extraits non traités par un précipitant des protides. Ensuite, les substances précipitées par le sérum spécifique ont les propriétés des polysaccharides quant à leurs réactions de coloration et quant à leur insolubilisation par l'alcool. Enfin,

l'hydrolyse détruit les substances précipitables dans la réaction d'Ascoli au même titre qu'elle dédouble les autres polysaccharides connus.

Récemment Combiesco et ses collaborateurs ont confirmé les résultats des recherches de Schockaert et ont établi en outre par toute une série de réactifs spécifiques des polysaccharides, la nature hydrocarbonée des substances insolubilisées dans la réaction d'Ascoli.

L'essence de la spécificité des protides a fait l'objet de plusieurs travaux. Le chauffage à 120° modifie les protides au point de les rendre biologiquement différents des protides originels. Malgré cela, leur spécificité reste conservée, en ce sens que la précipitine obtenue à la suite de l'injection de sérum humain chauffé n'est active qu'à l'égard de ce sérum chauffé et non à l'égard d'un autre sérum ayant subi la même température.

L'iode et le brome exercent à ce point de vue une action différente, étant donné que les protides modifiés sous leur influence sont en dehors de leur différenciation des protides originels, identiques entre eux, quel que soit le sérum qui ait subi l'influence de l'halogène en question. Toutefois les précipitines permettent de différencier un même protide suivant qu'il fut modifié par l'iode ou le brome.

La copulation aux protides d'un dérivé diazoïque d'une amine aromatique leur fait perdre également la spécificité. Toutefois contrairement à ce que nous avons signalé au sujet des halogènes, les azoprotides dans les recherches de notre assistant M. Adant se comportent comme identiques entre eux, quel que soit le noyau aromatique combiné aux protides : l'aniline, la naphtylamine α, la benzidine ou leurs acides, notamment l'acide sulfanilique, l'acide naphtionique et l'acide benzidine sulfonique.

Enfin, nous ajoutons que M. Adant a établi qu'il suffit d'incorporer dans la molécule de la gélatine un noyau aromatique, en l'occurrence l'aniline, pour lui conférer des propriétés antigéniques et pour obtenir chez les animaux inoculés avec l'azoprotide en question une précipitine active à l'égard des azoprotides et de la gélatine comme telle.

Parasitologie. — Dans un travail publié en collaboration avec Dubois et Bouckaert nous avons montré l'importance du sucre du sang dans la vitalité et la motilité des trypanosomes.

Des trypanosomes devenus récemment immobiles dans le sang conservé *in vitro* peuvent être réactivés par l'ajoute d'une dose appropriée de glucose, dextrose ou levulose, de galactose ou de maltose. Leur survie est d'autant plus longue que la réserve de sucre du sang est moins entamée et au cours des accès les trypanosomes peuvent se développer chez les petits animaux de laboratoire au point de produire une réelle hypoglycémie.

Le traitement de la paralysie générale au moyen d'infections parasitaires fébriles nous a permis d'étudier la fièvre récurrente et le sodoku.

Pour ce qui concerne la fièvre récurrente, nous avons indiqué avec Dubois un milieu de culture qui nous a permis de cultiver les spirochètes en série et de les déceler régulièrement dans le sang des malades.

Par l'étude d'un grand nombre de souches nous avons établi que l'épreuve de l'immunité croisée ne peut être utilisée, pour leur différenciation en espèces, étant donné que l'immunité est strictement limitée à la souche qui a produit l'infection et qu'en conséquence les animaux se réinfectent quand on leur injecte soit des spirochètes d'espèce différente soit des spirochètes de même espèce mais d'une autre provenance.

Schockaert a établi par des épreuves biologiques et par inoculations à des malades que les deux souches de *spirillum minus*, notamment la variété *morsus muris* et la variété *muris* sont identiques entre elles et peuvent influencer toutes les deux favorablement la paralysie générale.

Enfin, dans une série de publications nous avons étudié avec P. Vassiliadis les parasites qui apparaissent dans le sang des animaux après la splénectomie : les *bartonella* et les épérythrozoaires. Nous avons entre autres établi le mode de transmission de ces parasites (par les poux) et l'existence de variétés. Ainsi les *bartonella* du mulot sont distincts des mêmes parasites des rats et les épérythrozoaires de la souris naine et du campagnol (épérythrozoaire dispar.) sont morphologiquement différents des parasites coccoïdes de la souris. Nous avons montré que ces derniers peuvent être transmis à d'autres espèces animales, notamment aux rats et aux lapins splénectomisés. Le fait a été récemment confirmé par Lwoff et Vaucel.

Bactériophages. — Il n'est guère possible de résumer ici toutes nos publications relatives à ce phénomène. Nous avons travaillé cette question avec plusieurs collaborateurs : Maisin, Depoorter, De Necker, Appelmans, Wagemans, Tchang Kouo-Wgen, Brutsaert, Dubois, Schockaert.

Nos recherches ont établi la pluralité des bactériophages (fait admis actuellement par tous les bactériologues sauf par d'Herelle) et la complexité éventuelle des principes isolés d'après la technique habituelle.

La pluralité des bactériophages résulte : 1° du comportement des microbes devenus résistants à un bactériophage donné à l'égard d'un principe lytique d'une autre provenance ; 2° des essais de neutralisation au moyen de sérums antibactériophages ; 3° enfin de l'étude de leurs propriétés.

Nous avons contrôlé chez l'animal la valeur thérapeutique des bactériophages et nous avons par ces essais controuvé les conclusions de d'Herelle.

Nous avons avec Maisin préconisé l'emploi des bactériophages antistaphylococciques dans le traitement des affections produites par ce microbe. De nombreuses publications de bactériologues et de chirurgiens sont venues confirmer nos premières observations.

Enfin, pour terminer, nous ajoutons qu'un de nos élèves M. Adant a décrit le premier des bactériophages actifs à l'égard des microbes sporulés, notamment à l'égard du *b. subtilis* et du *b. mesentericus*.

DE LA PERMÉABILITÉ DES GELS NATURELS AUX ÉLECTROLYTES

par le Dr E.-J. BIGWOOD,

Laboratoire de Biochimie — Institut Solvay — Université de Bruxelles

---

L'étude de la diffusion et de la distribution des électrolytes dans des gels présente un intérêt à la fois du point de vue physiologique et aussi du point de vue purement chimique. Cet intérêt réside principalement dans le problème de la perméabilité aux ions de milieux hétérogènes doués d'une structure. Du point de vue physiologique, l'analogie que présente à certains égards la perméabilité élective d'une cellule vivante aux constituants du milieu humoral avec la perméabilité élective également, de certains gels colloïdaux aux électrolytes que lui apporte une solution, permet de faire dans certains cas, un départ net entre le rôle que joue la membrane cellulaire d'une part et celui que joue la substance intracellulaire elle-même d'autre part, dans les échanges matériels effectués par ces milieux. Sans doute, le cas du gel, plus simple assurément que celui de la cellule vivante, bien que très complexe cependant lorsqu'on le compare au cas d'une solution vraie, nous permet de mieux saisir l'intimité de certains phénomènes de distribution hétérogène d'ions, même quand le milieu imbibé est exposé pendant très longtemps aux liquides avec lesquels il échange des électrolytes. Cette hétérogénéité de partage est de nature aussi à rendre compte de certaines différences de potentiel, autres que des potentiels de diffusion proprement dits, qui existent entre divers endroits d'une même phase en apparence homogène soit d'un gel, soit d'un milieu cellulaire.

Du point de vue purement chimique, il convient de distinguer dans les phénomènes de perméabilité des gels aux ions, deux facteurs indépendants, bien qu'il puissent éventuellement superposer leurs actions.

Il s'agit d'une part, du phénomène purement physique de la diffusion et les caractères de ce phénomène cinétique simple peuvent être reconnus quantitativement ; ce sont d'autre part, les réactions chimiques entre l'ion diffusant et le matériel colloïdal que cet ion rencontre au cours de la diffusion.

Les gels naturels doivent être classés en deux catégories : Ceux dont la substance qui constitue leur structure ne réagit pas chimiquement avec des électrolytes ; c'est le cas de l'agar par exemple : et ceux dont la substance constitutive est capable, au contraire, de se comporter comme des acides ou des bases ; c'est le cas de la gélatine.

Nous avons étudié depuis environ cinq ans les caractères qui distinguent les phénomènes de diffusion d'ions dans ces deux types de gels.

Dans le cas de l'agar, la situation est donc simple dans ce sens que le phénomène de la diffusion purement physique entre seul en jeu, ou en tout cas, s'il ne joue pas seul, il est de toute façon très nettement prépondérant dans son action sur toutes les autres influences mises en jeu. On vérifie dans ce cas que la diffusion suit une loi cinétique, celle de Fourier pour la propagation de la chaleur, que Fick a étendue à la propagation des corps dissous dans les liquides. Dans le cas du gel d'agar, on vérifie, en effet, que la distance parcourue dans le gel par un niveau correspondant à une concentration constante de l'électrolyte diffusant (D), est une fonction linéaire de la racine carrée du temps (Graham, Coleman, Chabry, Voigtländer, Oholm, Fürth, Bubanovic, Stiles et Adair) : $K = D/\sqrt{t}$ [1]. Envisageons maintenant le cas du gel de gélatine. Le cas est compliqué cette fois par l'action simultanée d'un second facteur : la réaction chimique. Il est évident toutefois, qu'étant donné le poids moléculaire élevé de la matière protéique, les gels même concentrés de gélatine ont toujours une concentration faible en ions protéiques quand on exprime celle-ci en unités chimiques : l'équivalent gramme [2] ; or, étant donné que la diffusion des électrolytes dans les gels d'agar et de gélatine ont été examinés jusqu'ici pour des concentrations élevées de l'ion diffusant (0,1 à 5 n), il s'en suit que le phénomène a toujours été étudié en présence d'un grand excès d'électrolytes ne réagissant pas chimiquement avec la substance protéique du gel, en d'autres termes l'influence du facteur « réaction chimique » a été relégué au second plan et c'est pourquoi les expérimentateurs précités ont toujours vérifié la loi simple de Fick même dans le cas du gel de gélatine [3].

On peut montrer par contre, si l'on fait une étude analogue de la diffusion à des concentrations beaucoup plus faibles de l'ion diffusant (par exemple NaOH n/1000), que la loi de Fick ne se vérifie plus pour la gélatine ; on rend cette fois le facteur « réaction chimique » beaucoup plus apparent ; cette situation existe quand les ions qui diffusent ne se trouvent plus en grand excès sur ceux qui s'engagent dans la réaction chimique (1). On sait actuellement que les matières protéiques réagissent avec les électrolytes par valence principale. Elles se comportent elles-mêmes comme des acides ou des bases suivant la réaction du milieu dans lequel elles se trouvent. Or, on peut montrer que même dans le cas où la protéine constitue un gel et se répartit donc hétérogènement dans l'espace en deux

(1) K est une constante globale dans laquelle la constante de diffusion proprement dite est comprise.

(2) Arrondissons le poids moléculaire *minimum* de la gélatine au chiffre 10.000. Un gel à 8 % correspond donc à une concentration valant au maximum 80/10.000 =0,008 molécule-grammes au litre. Il s'agit ici d'une simple évaluation d'un ordre de grandeur. On admet d'autre part que le poids équivalent de la gélatine vaut 2000. La concentration du même gel correspondrait donc à 0,04 équivalent-grammes par litre.

(3) Si l'on admet que la vitesse de la réaction chimique (neutralisation des ions OH^-) est grande par rapport à la vitesse de diffusion et si la faible quantité d'ions neutralisés est constante le long du trajet parcouru par les ions diffusant, la loi de Fick continue à se vérifier ; seule la valeur de la constante K en est influencée.

phases, l'une solide, la structure réticulée du gel et l'autre liquide, la solution de particules protéiques libres, l'affinité par valence principale de cette matière par les électrolytes domine encore les propriétés physico-chimiques du gel et le mode de distribution des ions qui se partagent entre celui-ci et une solution extérieure correspond à un équilibre de Donnan.

Il en est ainsi, par exemple, quand du chlorure de calcium diffuse pendant une semaine environ d'une solution initialement centième normale de l'électrolyte, dans des cubes de gelée de concentration variant de 5 à 8 % (cubes de 2 à 3 cm. de côté). En moyenne l'équation de Donnan caractérisant le mode de distribution des ions diffusibles dans le gel et dans la solution, se vérifie d'une façon satisfaisante ; de plus, l'inégalité de distribution des ions dans les deux phases est très prononcée dans les conditions expérimentales susindiquées. C'est ainsi que la concentration de l'un des ions, le calcium, par exemple, peut être plus élevée dans l'une des phases par rapport à ce qu'elle vaut dans l'autre, dans une proportion pouvant atteindre 85 % de cette dernière concentration (2). Cherchons maintenant à diminuer davantage la concentration de la solution extérieure afin d'accentuer l'effet Donnan : Laissons donc diffuser, cette fois l'alcali d'une solution très étendue de soude caustique n/1000 dans des cubes de gelée de gélatine analogues à ceux décrits plus haut et préparons la gelée et la solution de façon que ces deux milieux soient imprégnés de la même quantité de l'indicateur rouge phénol par unité de volume. La solution est rouge et les cubes sont jaunes. Au fur et à mesure que la diffusion se poursuit, la région périphérique du gel devient rouge, la zone de virage de l'indicateur du rouge au jaune progresse d'abord de la surface vers le centre du bloc, mais elle atteint à un moment donné un niveau où elle s'arrête dans sa progression. Cet état stationnaire est atteint en quarante-huit heures et se maintient sans changement pendant une douzaine de jours au moins (3) ([4]). Les blocs ont gonflé pendant ce temps et l'on peut montrer qu'il y a après une semaine de gonflement une distribution en gradient de la concentration de la gélatine dans le bloc gonflé (4). Il est concevable que cet état de chose soit à son tour l'origine d'un gradient de concentration des ions qui diffusent dans le gel et que cette situation particulière constitue un état stationnaire d'équilibre de diffusion aussi longtemps que la tension élastique des couches périphériques gonflées du gel exercent sur les couches concentriques plus profondes une pression suffisante pour empêcher celles-ci de gonfler dans la même mesure. L'image suivante schématise cet état des choses :

$P_1^- Na_1^+$	$P_2^- Na_2^+$	$P_n^- Na_n^+$	Na^+OH^-	Si $P_1^- > P_2^- \ldots > P_n^-$ alors :
$Na_1^+ \; OH_1^-$	$Na_2^+ \; OH_2^-$	$Na_n^+ \; OH_n^-$		$OH_1^- < OH_2^- < \ldots < OH_n^-$
Gel			Solution	1, 2, ... n = indices.

([4]) L'inconvénient de ce type d'expérience est l'infection du milieu et l'altération chimique consécutive au développement des microbes et moisissures après une douzaine de jours.

Cette situation est sans doute de nature à expliquer qu'à l'équilibre de diffusion des ions dans le gel, la concentration des ions OH^- est moins élevée au centre que dans la région périphérique du bloc de gélatine et cette hétérogénéité de distribution des ions diffusibles dans les cubes rend compte des différences de teintes que prend un indicateur dans diverses régions de la gelée équilibrée. On peut répéter la même expérience et obtenir le même résultat dans des conditions différentes : préparons en effet une colonne de gelée de gélatine à 8 % colorée en jaune au rouge phénol et emprisonnée dans un tube à essai (une dizaine de cm^3 de gel dans un tube de 16 à 17 mm. de diamètre). Stérilisons le milieu à l'autoclave et après la prise en masse par refroidissement, versons sur le gel une vingtaine de cm^3 d'une solution stérile de NaOH $n \times 4 . 10^{-3}$ (pH 11 . 6) ; bouchons enfin hermétiquement le tube. La zone de virage progresse lentement mais régulièrement vers la profondeur du gel pendant 5 à 10 jours et atteint alors un niveau qui reste constant à une profondeur correspondant à une dizaine de millimètres de la surface du gel. La zone de virage s'étale ensuite sur une épaisseur de 2 mm. et la situation reste alors inchangée pendant plusieurs mois (le pH de la solution correspond à 11 vers le quinzième jour, c'est-à-dire à la fin de la première semaine à partir du moment où l'état stationnaire stable s'est établi). L'expérience peut être répétée en présence de divers indicateurs et la profondeur à laquelle se trouve la zone de virage est différente suivant la valeur du pH correspondant au virage de chaque indicateur. Ce fait indique l'existence d'un gradient de concentration de l'électrolyte NaOH dans le gel (5).

Cet état stationnaire correspond-il à un équilibre réversible, ou bien s'agit-il au contraire d'un équilibre apparent dû à une disparition progressive de l'ion au fur et à mesure qu'il continue à diffuser très lentement de la solution dans le gel ? Le cas serait alors comparable à celui étudié par A.-V. Hill, à savoir la diffusion de l'oxygène d'une solution dans un muscle : bien que la diffusion d'oxygène continue à se produire à partir d'une solution dans laquelle le gaz dissous y est maintenu sous une pression partielle constante par une circulation du liquide aéré, il y a cependant une zone située à une profondeur déterminée de la surface du muscle dans laquelle la concentration du gaz oxygène est nulle en raison de la consommation de l'oxygène par le processus métabolique du muscle. Peut-être pourrait-on invoquer un mécanisme analogue pour expliquer l'origine du niveau constant de la zone de virage de l'indicateur dans le gel de gélatine absorbant de la soude et neutralisant celle-ci au fur et à mesure qu'il continue d'absorber l'électrolyte ([5]).

Notons cependant que l'ordre de grandeur de la concentration de la gélatine, exprimée en normalité, est faible même dans des gels à 8 % (valeur maximale 0,04n, voir plus haut) et que par conséquent le pouvoir absorbant d'un gel de gélatine à 8 % à l'égard des ions OH^- est en

([5]) Cette suggestion intéressante m'a été faite par le professeur A. V. Hill comme une éventualité possible qu'il conviendrait d'examiner dans les cas de diffusion d'électrolytes à très faible concentration, dans des gels concentrés de gélatine.

somme très limité ; notons aussi que la concentration 0,004 *n* de soude ne constitue donc pas un excès d'alcali ni au contraire une trace exagérément faible d'électrolyte diffusant. Dans les expériences que j'ai mentionnées jusqu'ici, la concentration de l'électrolyte dans la solution extérieure ne reste pas constante pendant la diffusion puisque le volume de cette solution est limité et déterminé. La variation du *p*H de la solution devient cependant extrêmement réduite à un moment donné. Elle reste pratiquement négligeable pendant des périodes de une à deux semaines.

Quand, au contraire, on observe la diffusion dans un gel maintenu au contact d'une solution courante dans laquelle la soude est donc maintenue à concentration rigoureusement constante, notamment 0,001 *n*, on constate que la diffusion est rapide dans les gels d'agar même très concentrés, tandis qu'elle se poursuit d'abord lentement dans des gels de gélatine, pour atteindre le même type de régime stationnaire décrit précédemment. Quand alors, on remplace la solution par une autre dont la teneur en alcali est plus faible que la précédente mais cependant plus élevée en ions OH que la zone correspondant au virage de l'indicateur, on constate que celle-ci remonte vers la solution, c'est-à-dire vers la région des concentrations plus élevées en ions hydroxyles au lieu de tendre à progresser dans le sens des concentrations décroissantes. Cette expérience apporte un sérieux argument en faveur de l'hypothèse que l'état stationnaire en question constitue véritablement un état d'équilibre proprement dit, réversible (6).

Quelle que soit l'explication qu'il conviendra d'adopter de ce phénomène, il ressort clairement des faits que la diffusion d'électrolytes à faible concentration dans les gels de gélatine ne répond pas aux lois de la simple diffusion, que ces électrolytes sont distribués hétérogènement suivant un gradient dans le gel et que cette hétérogénéité se maintient pendant très longtemps. Peut-être la structure du gel joue-t-elle un rôle dans ces phénomènes et peut-être est-elle influençable par des différences de *p*H en divers endroits du gel. J'ai montré, par ailleurs, que cette structure paraît aussi influençable par la composition chimique du milieu, dans les conditions isoélectriques (7).

BIBLIOGRAPHIE

(1) E. J. Bigwood, Rapport présenté à une réunion spéciale de la *Faraday Society*, consacrée à divers problèmes se rapportant aux Colloïdes (Septembre 1930. — Cambridge). — Voir *Transactions de la Faraday Soc.*, déc. 1930. (Sous presse.)

(2) E. J. Bigwood, *C. R. Soc. Biol.*, **96**, 131, 136, 1926 ; **96**, 199, 1927 ; **102**, 322, 324, 1929.

(3) E. J. Bigwood, *C. R. Soc. Biol.*, **102**, 600, 1929 ; **103**, 45.

(4) E. J. Bigwood et G. Melot, *C. R. Soc Biol.*, **104**, 326, 1930.

(5) E. J. Bigwood, *C. R. Soc Biol.*, **102**, 602, 1930 ; **103**, 47.

(6) E. J. Bigwood, *C. R. Soc Biol.*, **103**, 45, 1930.

(7) E. J. Bigwood et R. Majmin, *C. R. Soc. Biol.* Séance du 31 mai 1930 de la Société belge de Biologie.

LES SUBSTANCES RÉDUCTRICES DU SANG — LA GLYCÉMIE

par le Docteur E.-J. BIGWOOD

(Laboratoire de Biochimie, Institut Solvay, Université de Bruxelles)

L'étude du « sucre sanguin » présente des aspects variés. Les problèmes qu'elle pose sont nombreux et plusieurs d'entre eux résultent directement de l'imperfection de la définition même de la glycémie. On entend en effet par sucre sanguin, la quantité de glucose commercial dont le pouvoir réducteur correspond à celui qu'on mesure globalement dans le liquide sanguin débarrassé préalablement de ses matières protéiques et d'autres corps entraînés dans la précipitation de ces matières. Cette définition soulève plusieurs questions : Le glucose est-il le seul corps réducteur circulant dans le sang? S'il y en a d'autres que lui, s'agit-il de substances non glucidiques ou bien d'autres corps du groupe des substances sucrées? Tous les réactifs servant à mesurer le pouvoir réducteur des filtrats de déprotéination du sang se comportent-ils de même à l'égard de ces substances diverses et certains réactifs déféquants du sang précipitent-ils certaines d'entre elles?

De toutes les recherches qui ont été faites au sujet de ces divers aspects de la question, il se dégage aujourd'hui la notion qu'il y a dans le sang, un mélange de substances réductrices parmi lesquelles le glucose joue un rôle prépondérant ; celles qui ne sont pas du glucose se trouvent surtout dans le globule rouge.

D'autre part, l'étude du glucose lui-même a soulevé diverses questions aussi : ce sucre circule-t-il librement dans le plasma, ou bien se trouve-t-il combiné en partie aux matières protéiques? Ce problème se rapporte à celui de l'existence éventuelle d'un sucre protéidique. Les propriétés optiques du glucose sanguin, sont-elles les mêmes que celles du glucose commercial ? Cette question concerne l'étude de la nature même du sucre sanguin ; elle compte parmi les sujets de recherche qui ont été les plus controversés dans ces dernières années.

L'étude de ces divers aspects du problème a été entreprise dans notre laboratoire depuis cinq ans environ. Elle a conduit aux résultats suivants :

I. — Les matières réductrices du sang et leur répartition dans les globules rouges et le plasma

Quand on mesure le pouvoir réducteur global d'un mélange de substances réductrices dissoutes dans une liqueur albumineuse, le résultat du dosage peut être différent suivant le choix du réactif déprotéinant d'une

part, et suivant le choix du réactif oxydant d'autre part. Les différences ont d'autant plus de chances d'être divergentes que le mélange est plus complexe.

a) *Dosage du pouvoir réducteur mesuré par un même réactif oxydant, le ferricyanure de potassium en milieu alcalin, la défécation étant variable*

Nous avons étudié avec M[lle] Wuillot l'action de deux agents déprotéinants : l'acide tungstique à froid (Procédé de Folin et Wu) et l'hydrate de zinc à chaud (procédé de Hagedorn et Jensen)

Dans le cas du plasma, la concordance des résultats de dosages par les deux procédés de défécation est excellente. En effet, la moyenne d'une série de dosages de la glycémie de divers échantillons de plasma a été de 1,38 gr. °/₀₀ en défécation tungstique et de 1,36 gr. °/₀₀ en défécation au zinc. Il n'en est plus de même du sang total ; cette fois, le résultat est toujours plus élevé en défécation tungstique, d'une valeur qui correspond en moyenne au pouvoir réducteur d'une solution de glucose à 0,20 gr. °/₀₀. En effet, les moyennes des dosages de la glycémie dans divers échantillons de sang total, se sont élevés à 1,07 gr. °/₀₀ en défécation tungstique et à 0,87 gr. °/₀₀ en défécation au zinc. *L'hydrate de zinc précipite donc du sang laqué, des substances oxydables par le ferricyanure, que l'acide tungstique ne précipite pas* (1).

L'hydrate de zinc est d'ailleurs capable de précipiter ces substances réductrices d'un filtrat tungstique de sang total ; de sorte que le résultat d'un dosage après double défécation de sang laqué, défécation tungstique suivie d'une défécation au zinc, correspond à peu de chose près au résultat du dosage effectué d'emblée par l'hydrate de zinc seul dans un autre échantillon du même sang laqué.

b) *Dosage du pouvoir réducteur mesuré par divers réactifs oxydants dans un même défécat tungstique.*

Les deux réactifs comparés ont été celui de Hagedorn et Jensen au ferricyanure de potassium et celui de Fontes et Thivolle à base de sel cuivrique.

Dans le cas du *filtrat tungstique du plasma*, les dosages suivant les deux techniques susmentionnées donnent le même résultat ; en effet, les moyennes des résultats d'analyses du plasma divers nous ont donné 1,54 gr. °/₀₀ par oxydation au ferricyanure et 1,50 par oxydation au réactif cuivrique. Par contre, ces méthodes donnent des résultats constamment différents quand il s'agit de filtrats tungstiques d'échantillons de sang total laqué : moyenne de 1,80 gr. °/₀₀ au ferricyanure et 1,57 au réactif cuivrique, soit un écart moyen de 0,23 gr. °/₀₀ ; en fait les écarts ont varié de 0 à 0,39 gr. °/₀₀.

Le globule rouge contient donc des quantités appréciables de substances oxydables par l'ion ferricyanure et non oxydables par le réactif cuivrique de Fontes et Thivolle. Ces substances ne se trouvent pas dans le plasma. Nous avons supposé que des corps du type du glutathion qui se trouvent dans le globule rouge et non dans le plasma seraient capables

de rendre compte de ces observations. HERBERT et ses collaborateurs ont montré récemment qu'une solution aqueuse de glutathion préparé par Hopkins est beaucoup plus facilement oxydable par le ferricyanure que par le réactif cuivrique de Folin et Wu ; ils obtiennent par défécations tungstique et zincique de mélanges de plasma et de glutathion, des résultats comparables à ceux que nous avons observés dans le *sang total laqué*. Des faits analogues se trouvent aussi, dans un mémoire récent de GULLAND et PÉTERS (2) et (3).

II. — LE CARACTÈRE FERMENTESCIBLE DU SUCRE SANGUIN

Les substances réductrices du sang ne sont pas toutes fermentescibles (4). Bien que du glucose ajouté au plasma ou au sang soit intégralement et très rapidement consommé par la levure à alcool des boulangers (fermentation haute), le plasma contient cependant des substances réductrices non fermentescibles dont le taux exprimé en glucose, correspond en moyenne à 0,10 ou 0,15 gr. °/₀₀, soit 10 à 15 % environ de la totalité des substances réductrices libres du plasma. Ces substances ne se retrouvent pas dans le liquide céphalorachidien prélevé chez le même sujet, en même temps que le sang. Ce fait à lui seul n'est pas capable d'expliquer les écarts qui existent entre la glycémie et la glycorachie parce que ceux-ci sont d'un ordre de grandeur plus élevé (environ 30 à 40 %). Les substances réductrices non fermentescibles sont plus abondantes dans le globule rouge que dans le plasma ; en effet, le reste de fermentation du sang total vaut en moyenne 0,24 gr. °/₀₀. Les corps azotés, non glucidiques, connus pour avoir des propriétés réductrices, tel que l'acide urique et la créatinine, ne sont pas assez abondants dans le sang pour intervenir dans ces dosages. Ce n'est que lorsqu'ils s'y accumulent en proportions exagérément élevées qu'ils interviennent dans le dosage des glucides et introduisent de ce fait une cause d'erreur dans la mesure de la glycémie (certains cas d'hyperglycémie apparente dans les néphrites) (Van Slyke, Bigwood et Wuillot).

Il résulte de l'ensemble de ces observations que ce qu'on entend communément par « glycémie » consiste dans le pouvoir réducteur global d'un mélange de substances réductrices parmi lesquelles ce qui n'est certainement pas du glucose peut valoir jusque 40 % du pouvoir réducteur total du sang. Ce fait est surtout essentiel dans l'interprétation des valeurs qu'on observe dans les cas d'hypoglycémie. Quand on mesure la glycémie par le réactif oxydant de Hagedorn et Jensen qui nous paraît constituer actuellement la méthode de choix, pour des raisons techniques, le résultat qui se rapproche le plus de la glycémie vraie du sang total est celui qu'on mesure en défécation au zinc. Dans le cas du plasma, la défécation tungstique peut être également bien employée. Un mémoire vient de paraître, dans lequel J. ROCHE montre qu'il faut compter des hexosephosphates et l'acide adénilique parmi les corps compris dans le dosage des substances réductrices du sang total (5).

III. — Du sucre protéidique

On a pensé pendant longtemps que du glucose se trouvait combiné chimiquement aux protides sanguins en proportions notables et que cette combinaison était nécessaire pour que le sucre pût s'engager dans le métabolisme (Lépine et Boulud ; Bierry ; Quagliariello). Les mêmes expérimentateurs ont pensé que la différence entre le pouvoir réducteur que dénote le plasma avant et après hydrolyse ménagée par la chaleur en présence d'un acide minéral fort, correspond au glucose « protéidique ». Nous avons montré avec Mlle Wuillot qu'il n'en est rien ; que la plus grande partie du pouvoir réducteur apparaissant dans le sang après hydrolyse n'est pas fermentescible, qu'elle varie dans certaines limites avec l'intensité du processus hydrolytique et qu'elle paraît être due aux produits azotés de l'hydrolyse minérale des globulines *et* des albumines sériques. La portion fermentescible des corps réducteurs libérés par hydrolyse est faible et constante. Elle paraît être indépendante du métabolisme glucidique et correspond à 0,30 à 0,40 gr. de glucose par litre de sérum sanguin, soit 0,4 à 0,7 % du poids de la matière protéique contenue dans ce volume de sérum (6).

IV. — Du pouvoir rotatoire du glucose sanguin

Quand on dose le sucre dans un dialysat du sang par la mesure de son pouvoir réducteur global, d'une part et d'autre part aussi par son pouvoir rotatoire, en admettant que le glucose sanguin a le même indice spécifique de déviation de la lumière polarisée que celui d'une solution pure de glucose stable en équilibre αβ, on obtient des résultats de dosage très différents. Ce fait fut d'abord mis en évidence par Winter et Smith dans des défécats sanguins. Lundsgard et Holboll observèrent le fait dans des dialysats sanguins, mais ils se rétractèrent ensuite. Le fait parut contestable pour plusieurs raisons : d'abord la déviation du plan de polarisation de la lumière traversant un dialysat sanguin est extrêmement faible ; de plus, il existe sans doute dans le sang une diversité d'autres corps optiquement actifs mais la question est de savoir si leurs effets se balancent mutuellement, ou bien si leurs concentrations sont suffisamment élevées pour intervenir appréciablement comme cause d'erreur dans les mesures du pouvoir rotatoire du ou des sucres sanguins? La question fut reprise dans notre laboratoire par J. Thomas après mise au point d'une technique très fine et vérification de divers effets imputables aux conditions expérimentales. Il résulte des observations de Thomas que la méthode optique donne réellement un résultat de dosage du sucre fermentescible du sang, notablement différent de celui fourni par la mesure du pouvoir réducteur. Le premier est inférieur au second et vaut 50 à 90 % de la valeur de ce dernier. Cette différence reste stable. Le pouvoir rotatoire du « sucre sanguin » ne présente pas le phénomène de la mutarotation *in vitro*. Après action de la levure sur les dialysats de sang total, le milieu devient complètement inactif sur le plan de la lumière polarisée qui le traverse, de sorte qu'il n'est pas possible d'invoquer la présence de corps lévogyres non fermentescibles tel que le

glutathion, par exemple, dans les dialysats, pour rendre compte du faible pouvoir rotatoire du « sucre sanguin » (7). La question qui se pose est de savoir si la portion fermentescible de la glycémie consiste en un mélange de corps glucidiques parmi lesquels il y aurait du glucose stable en équilibre αβ; ou bien si le « sucre sanguin » est une forme active du glucose, différente de sa forme stable que l'on connaît *in vitro* à l'état pur et dont le pouvoir rotatoire spécifique vaut 52°,5 à 20 degrés centigrades dans la lumière D du sodium.

BIBLIOGRAPHIE

(1) E. J. Bigwood et A. Wuillot, *C. R. Séances Soc. Biol.*, **99**, 349, 1928 ; **103**, 43, 1929 ; **104**, 329, 1930 ; *Bull. Soc. Chim. Biol., Paris*, **11**, 792, 1204 et 1219, 1929.

(2) F. K. Herbert et ses collaborateurs, *Biochemical Journal*, **23**, 339, 1929 et **24**, 291, 1930.

(3) J. M. Gulland and R. A. Peters, *Biochemical Journal*, **24**, 91, 1930.

(4) E. J. Bigwood et A. Wuillot, *C. R. Séances Soc. Biol.*, **96**, 410, 414, 713, 1927 : **99**, 347, 349, 1928 ; **103**, 43, 1929 ; **104**, 329, 1930. — *Bull. Soc. Chimie biol., Paris*, **9**, 867, 1927 ; **10**, 272, 1928 ; **11**, 792, 1204, 1219, 1929.

(5) J. Roche, *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **12**, 636, 1930.

(6) E. J. Bigwood et A. Wuillot, *C. R. Séances Soc. Biol.*, **96**, 417, 1927; **97**, 186-187; **97**, 352, 1928 ; *Bull. Soc. Chimie biol., Paris*, **10**, 274, 1928.

(7) J. Thomas, *C. R. Séances Soc. Biol.*, **104**, 331, 1930.

LE TRAVAIL MUSCULAIRE DU DIABÉTIQUE ET L'INNERVATION DU PANCRÉAS

par J. HOET,

Professeur à l'Université de Louvain

De nombreuses observations ont été faites sur le travail musculaire du patient diabétique et du chien dépancréaté.

La lassitude physique et l'extrême épuisement par le travail musculaire prennent une place importante dans le tableau clinique d'un cas de diabète grave. De plus, Bouchard et Minkowski ont montré que l'exercice musculaire diminue la quantité de glucose excrétée en vingt-quatre heures chez le diabétique de moyenne gravité, mais l'augmente chez le diabétique grave. D'ailleurs, le chien dépancréaté partiellement se comporte comme un cas de diabète léger, tandis que l'animal totalement dépancréaté réagit comme le diabétique grave et augmente son excrétion de glucose, lors d'une tentative de travail musculaire (Seo). Hetzel et Long ont encore confirmé ces données dernièrement.

Nos recherches expérimentales sur les fonctions de l'insuline nous ont conduit à des résultats qui permettent de saisir certaines caractéristiques pathologiques du travail musculaire du diabétique.

Avec Best et Marks, au Laboratoire de H.-H. Dale, nous avons étudié le sort du glucose qui disparaît sous l'action de l'insuline dans une préparation (chat) ne comprenant plus que le cœur, les poumons et les muscles. Nous avons montré que le glucose se fixe sous forme de glycogène dans les muscles ; nous avons même fait le bilan établissant qu'on retrouve quantitativement dans cette préparation le sucre qu'on y injecte. A la suite de ces travaux. l'hypothèse de Macleod que l'insuline a pour fonction la transformation du glucose en une forme d'hydrate de carbone inconnue doit être abandonnée. Au cours de ces expériences, nous avions remarqué avec étonnement que le glycogène des muscles homologues reste constant malgré qu'ils étaient nourris par un sang très riche en glucose. Dans des conditions identiques, le muscle de grenouille transforme le glucose en glycogène (Meyerhof). Le glycogène musculaire d'un chat à moelle coupée au niveau de l'axis, cerveau et moelle allongée détruits n'augmente pas, même après injection de hautes doses de glucose. Voici une expérience-type qui permettra de saisir la signification des résultats.

Chat 2,200 kg. Spinal, cerveau et moelle allongée détruits, injection intraveineuse de glucose de 1,6 gr. par kg. La tension artérielle se maintient entre 60 et 70 millimètres de mercure.

La glycémie après section de la moelle est de	0,293 %
Immédiatement après l'injection de glucose	0,700 %
Après nonante minutes	0,554 %

Le glycogène des muscles est de 0,311 gr. % avant l'injection de glucose et de 0,293 gr. % nonante minutes après l'injection. Ce chiffre de glycogène est obtenu en faisant la moyenne des dosages faits sur quatre muscles différents. Des muscles homologues sont prélevés de l'autre côté pour comparaison.

Non seulement il ne se forme pas de glycogène musculaire chez le chat spinal auquel on injecte du glucose. Mais lorsqu'on excite les bouts périphériques des nerfs sciatiques et que l'on fait disparaître de cette façon le glycogène musculaire par le travail, les muscles d'une préparation spi-

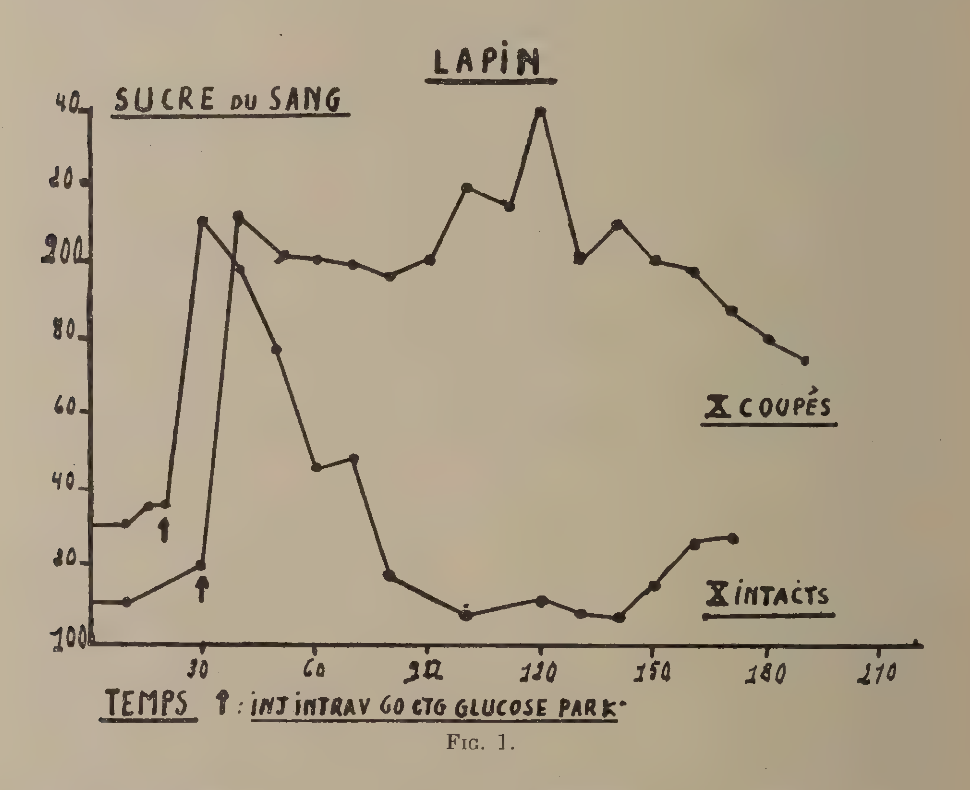


FIG. 1.

nale (voir ci-dessus) sont incapables de restaurer le glycogène perdu. Ce fait est confirmé par Macleod, Mackay et Fraser. Macleod en rapportant ses expériences fait part de son impression que la raison de cette incapacité de reformer le glycogène est due à une tension sanguine insuffisante : nous verrons que cette explication ne répond pas à la réalité.

Meyerhof, également, a tenté d'appliquer à des études sur les muscles des mammifères toutes les données quantitatives obtenues sur la synthèse du glycogène par le muscle de grenouille et le « recovery process » bien connu de Hill et Meyerhof. Il a pu observer, il est vrai, une légère synthèse

de glycogène dans le diaphragme isolé de rat (Takane). Mais dans la majorité des cas ceux qui ont tenté de démontrer la synthèse de glycogène chez les animaux à sang chaud n'ont pas pu réussir ; pour interpréter tous les insuccès l'auteur suppose que l'adaptation des capillaires nécessaire à l'approvisionnement en oxygène a été insuffisant dans les conditions expérimentales réalisées. Il conclut d'ailleurs que l'insuline, apparemment, n'intervient pas dans l'ensemble des processus de glycogénolyse et de reconstitution, qui se passent au cours des contractions musculaires.

Nos expériences nous permettent d'affirmer que l'insuline joue un rôle primordial dans la reconstitution du glycogène musculaire après travail. La raison pour laquelle Macleod et d'autres n'ont pu observer de synthèse de glycogène dans les muscles de mammifères est la déficience d'insuline chez leurs animaux en expérience.

En effet, lorsqu'on fait l'expérience que nous rapportions plus haut (excitation des deux nerfs sciatiques et prélèvement de quatre muscles immédiatement après et de quatre muscles de l'autre côté après une période d'une heure et demie) sur un animal complet sous éther, le glycogène musculaire se refait très facilement. Mais il suffit de couper à l'animal en expérience les deux nerfs vagues soit au cou, soit en dessous du diaphragme, pour ne plus avoir la moindre resynthèse du glycogène. La pancréatectomie même pratiquée immédiatement avant l'expérience a le même effet que la section des nerfs vagues.

Ces expériences démontrent que la destruction des centres des nerfs vagues au niveau de la moelle allongée ou la section de ces nerfs ont le même effet que la suppression de l'insuline par la pancréatectomie. Nous concluons que ces interventions ont arrêté le tonus insulino-sécréteur : de fait l'insuline à dose physiologique rend immédiatement au muscle la propriété de reconstituer son glycogène après travail. Nous avons pu mettre en évidence une très bonne resynthèse de glycogène grâce à l'injection d'un tiers d'unité d'insuline par kilogramme et déjà au bout de quinze minutes d'action. (Debois).

Nous n'avons pu établir jusqu'à présent si le tonus insulino-secréteur augmente au cours du travail musculaire ou bien si le tonus existant normalement suffit. Nous verrons qu'il est probable qu'il y ait une augmentation réflexe de l'insulino-sécrétion au cours d'un exercice musculaire.

A la suite de la démonstration de l'arrêt net de toute secrétion d'insuline par la section des nerfs vagues, nous pouvions interpréter l'invariabilité du glycogène musculaire chez l'animal spinal auquel on injecte du glucose. Ce glucose ne peut plus se fixer dans les muscles ; il faut qu'il reste dans le sang et passe dans les urines.

De fait, c'est ce que nous avons pu observer chez le lapin anesthésié a l'allylisopropylbarbiturate de diéthylamine. Dans la figure 1 nous reproduisions la courbe de glycémie obtenue chez un lapin intact par l'injection de 60 cg. de glucose par kilogramme, comparée à celle que l'on obtient par la même injection chez un animal dont les nerfs pneumogastriques ont été coupés. La glycémie se maintient aux environs de 200 mg. et l'ani-

mal devient glycosurique. Lorsque nous reprenons l'expérience au moyen de dose croissante de glucose chez des animaux aux nerfs vagues sectionnés, la glycémie retombe toujours aux environs de 180 mg. % (voir fig. 2). Il n'était point douteux que cette glycémie était déterminée par le niveau

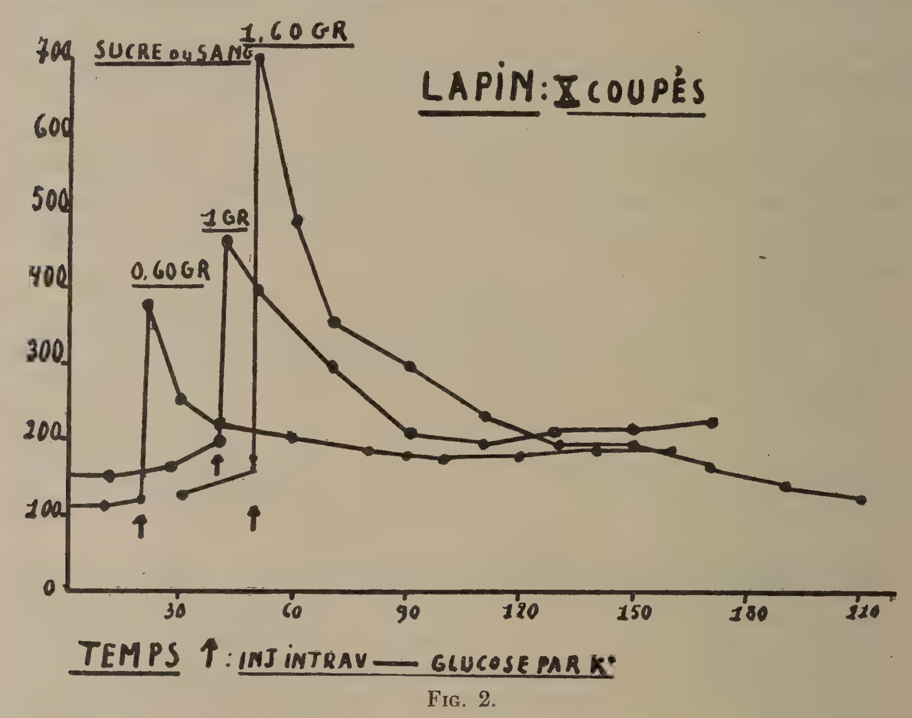


FIG. 2.

du seuil rénal au glucose ; en effet, dans toutes ces expériences nous trouvions une grande quantité de sucre dans les urines. Aussi pour mettre mieux en évidence les différences entre l'animal aux nerfs vagues intacts et l'animal aux nerfs vagues coupés, avons-nous repris l'étude sur animaux néphrectomisés. La figure 3 nous donne les courbes d'hyperglycémie de lapins néphrectomisés, l'un à nerfs vagues intacts, l'autre à nerfs vagues coupés. La glycémie de ce dernier se maintient pendant trois heures entre 400 et 500 mg. % ; nous concluons que chez ce dernier le pancréas est devenu incapable de répondre par une sécrétion d'insuline, même à une hyperglycémie de 400 à 500 mg. %. Cette série d'expériences a confirmé en tous points nos résultats obtenus chez le chat au cours de l'étude du travail musculaire (Ernould). La question du contrôle de l'insulino-sécrétion est pourtant fort controversée. Zunz et Labarre, par la méthode de l'anastomose pancréatico-jugulaire, ont mis en évidence l'existence du contrôle nerveux de l'insulino-secrétion chez le chien. Gayet et Guillaumie ont montré sur le chien qu'un pancréas isolé implanté sur la circulation carotido-jugulaire sécrète de l'insuline et ramène la glycémie à la normale après injection de glucose.

Reprenant nos expériences sur le chien, les résultats furent différents ;

le chien aux nerfs vagues coupés a une courbe d'hyperglycémie provoquée, à peu près semblable à celle d'un animal à vagues intacts. Même résultats chez le chien aux nerfs vagues coupés après néphrectomie double (fig. 4 et 5). Chez le chien spinal (préparation ci-dessus), également la glycémie

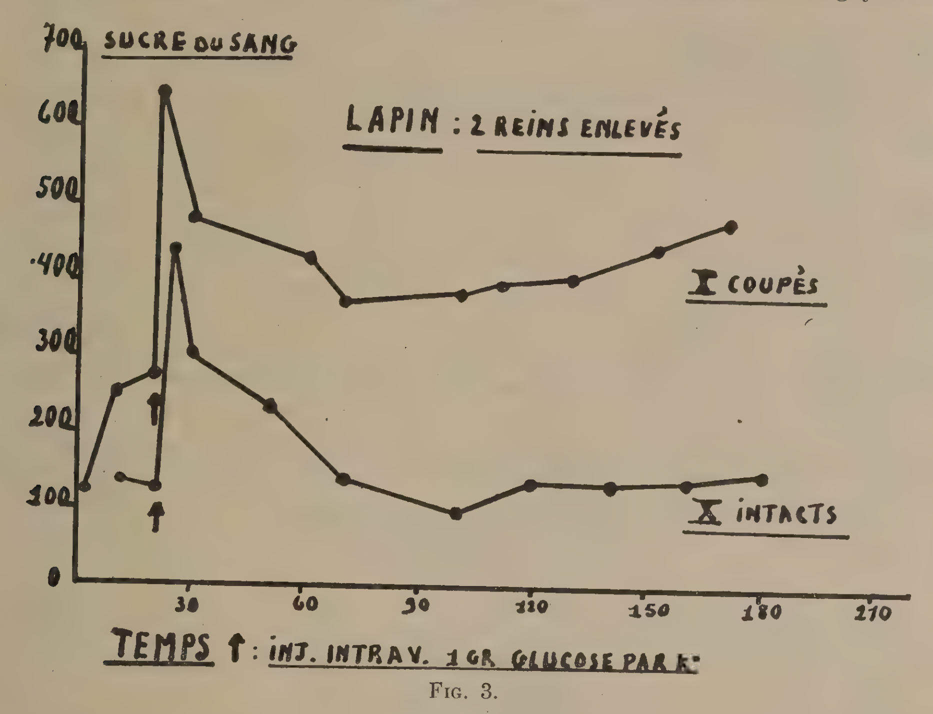


FIG. 3.

revient à la normale, ce qui ne se passe jamais chez le chat spinal comme nous avons pu le voir. Il n'y a pas à douter que chez le chien l'insuline est sécrétée malgré le section des nerfs vagues ; rien ne permet de conclure que cette insulinosecrétion est une réponse à l'hyperglycémie provoquée ; il se peut qu'il s'agisse d'une sécrétion paralytique, nullement en rapport avec l'injection de glucose mais en conséquence de la section des nerfs vagues. Rien de pareil ne se produit ni chez le chat ni chez le lapin. Des expériences en cours montrent qu'il s'agit chez le chien d'une sécrétion d'insuline qui n'est pas réflexe à l'injection du glucose mais la suite de l'énervation. Ces résultats nous permettent d'entrevoir une solution à la controverse qui divise les observateurs à propos du contrôle de l'insulino-secrétion.

Le rôle permanent du contrôle nerveux de la sécrétion d'insuline n'est point douteux ; les hyperglycémies endogènes sont multiples ; nous pouvons les réaliser soit par excitation électrique du bout central d'un nerf sensible, soit par l'injection d'adrénaline. Dans ces deux cas le pancréas ne réagit plus après section des nerfs vagues, au moins chez le chat et le lapin. En conséquence, les hyperglycémies sont bien plus fortes et durent bien plus longtemps. Normalement les centres répondent aux hyperglycémies endogènes par une augmentation de sécrétion d'insuline qui se fait par

voie nerveuse. Ces résultats confirment en partie certaines expériences de Zunz et Labarre (Defauw).

Par cette sécrétion d'insuline en réponse aux hyperglycémies endogènes, nous rejoignons notre point de départ. En effet, au début de tout tra-

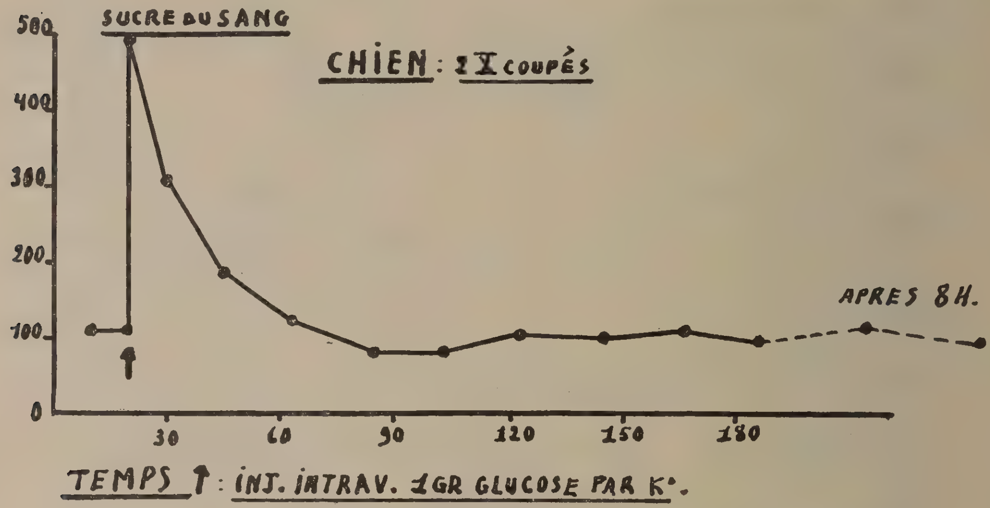


Fig. 4.

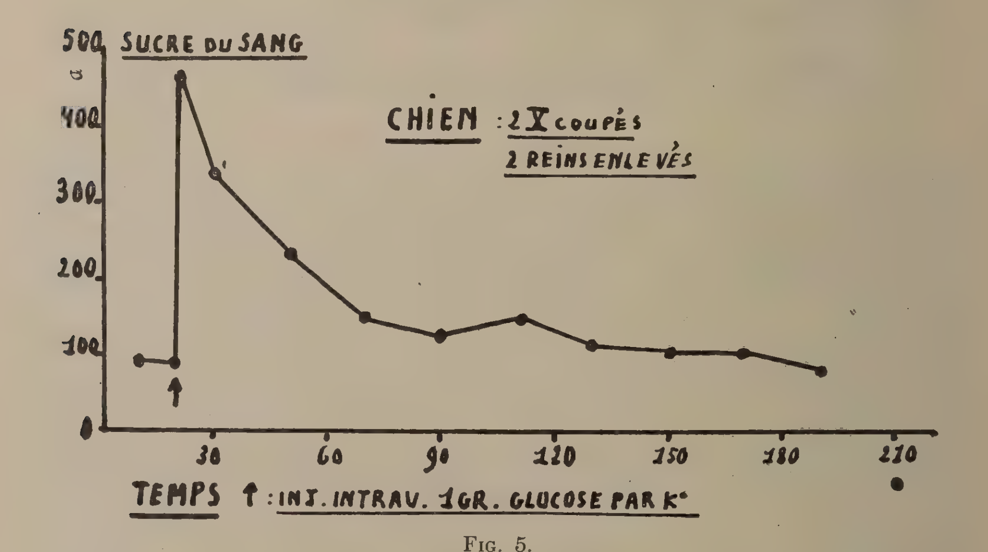


Fig. 5.

vail musculaire il se produit régulièrement une hyperglycémie, considérable chez le diabétique et faible chez l'homme normal. La différence entre les deux est due très probablement à l'insulino-secrétion réflexe, qui ne peut plus se faire dans l'organisme diabétique. L'insuline sécrétée rendra possible la reconstitution régulière de glycogène qui se perd par le travail.

Notre étude n'est pas terminée : de nombreux aspects de la chimie musculaire n'ont pas encore été pris en considération, mais les résultats obtenus jusqu'à présent permettent déjà des applications intéressantes sur lesquelles je voudrais attirer l'attention.

1. — Le premier symptôme que le diabétique sent disparaître dès le début du traitement à l'insuline avant même d'avoir récupéré l'état général antérieur à sa maladie, est cette lassitude et cet épuisement excessif. Celle-ci traduit les troubles de la chimie musculaire dont nous avons étudié un des aspects et qui est corrigée par l'insuline.

2. — Chez le diabétique traité à l'insuline, la cause la plus fréquente de crise hypoglycémique est le travail musculaire excessif. En effet, la consommation de glucose devenue considérable au cours de celui-ci crée un vide de glycogène, qui ne pourra se combler qu'au moment de l'injection de l'insuline. Celle-ci est nécessairement brusque et massive et entraîne une telle fixation de glucose que la décompensation hypoglycémique survient facilement. Ce vide de glycogène se fait sentir chez le diabétique pendant vingt-quatre heures au moins, c'est-à-dire que le lendemain d'une fatigue musculaire excessive, la dose normale d'insuline parfaitement supportée depuis des mois ou des années et accompagnée de la dose usuelle d'hydrates de carbone, peut provoquer une hypoglycémie grave ; celle-ci prend fréquemment l'aspect d'un état mental confusionnel.

3. — L'excrétion de glucose augmente par le travail musculaire chez le diabétique complet parce que la sécrétion d'insuline qui permet de consommer le glucose mobilisé lui fait défaut. En présence d'un reste de pancréas, une petite quantité d'insuline est sécrétée et par le fait même l'excrétion de glucose en vingt-quatre heures est diminuée.

Cet aperçu rapide des recherches que nous poursuivons sur le métabolisme des hydrates de carbone et la glycorégulation nous a permis de vous communiquer des résultats bien établis et de montrer d'ailleurs toute l'étendue du domaine à explorer.

En résumé, nous concluons que la reconstitution du glycogène musculaire perdu par la contraction est une fonction insulinienne. L'insuline présente dans les muscles n'est pas suffisante par elle-même pour permettre un « recovery process » normal. L'intégrité des centres bulbaires des nerfs vagues et des nerfs eux-mêmes est indispensable pour assurer la sécrétion d'insuline nécessaire à la reconstitution du glycogène, ou pour fixer une dose de glucose injectée, ou pour ramener à la normale une hyperglycémie endogène.

Chez le lapin, après section des deux nerfs vagues, le pancréas ne répond pas même à une hyperglycémie de 400 à 500 mg. Au contraire, chez le chien, la courbe d'hyperglycémie provoquée retombe à la normale malgré la destruction des centres bulbaires ou la section des nerfs vagues.

Ces faits permettent de comprendre la lassitude physique du diabétique et son amélioration immédiate par l'insuline, l'action favorisante de l'exercice musculaire sur les crises hypoglycémiques chez le diabétique traité et l'augmentation de l'excrétion de glucose par le travail musculaire chez le diabétique complet.

A PROPOS DU PRINCIPE GONADOTROPE CONTENU DANS LES EXTRAITS DE LOBE ANTÉRIEUR ET DANS L'URINE DE FEMME ENCEINTE

par L. BROUHA et H. SIMONNET

L'implantation de lobe antérieur d'hypophyse et l'injection de certains extraits de cette glande exercent une action stimulante sur le tractus génital mâle ou femelle, (Smith et Engel ; Lœwe et Voss ; Zondek et Aschheim ; Brouha et Simonnet ; Evans et Simpson, etc.), ainsi que sur la thyroïde (Aron ; Crew et Wiesner).

Inversement, l'ablation de l'hypophyse produit, entre autres effets, la dégénérescence du tractus génital et de la thyroïde. Ces modifications sont spécifiquement réparées par l'implantation d'antéhypophyse.

Il est donc bien établi que le lobe antérieur possède, outre son action favorisante sur la croissance générale, une action stimulante sur la thyroïde et sur le développement du tractus génital.

Ces deux dernières actions se retrouvent dans l'urine humaine, mais il existe une différence fondamentale entre les effets que l'urine exerce sur la thyroïde d'une part et sur le tractus génital d'autre part. La première action, toujours faible, s'obtient avec toutes les urines (Aron et Klein); l'autre, au contraire, qui n'est jamais provoquée par l'urine de femme normale, atteint une intensité considérable quand on emploie l'urine de femme enceinte. Cette action peut être obtenue avec certaines urines d'homme, mais, dans ce cas, la stimulation est toujours moindre qu'avec l'urine de femme enceinte (Engel, Laurent, Brouha et Simonnet).

Il existe donc, dans l'urine gravidique comme dans les extraits antéhypophysaires, un principe qui agit sur les glandes sexuelles et un principe que agit sur la glande thyroïde.

Quelle est l'origine de la substance gonadotrope contenue dans l'urine de femme enceinte ?

Pour certains, elle serait d'origine placentaire ; pour d'autres, d'origine hypophysaire

Discutons ces deux hypothèses. En dehors de la gestation, l'hypophyse sécrète de l'hormone gonadotrope qui ne passe dans l'urine qu'en quantité très faible (Zondek). Pendant la grossesse, il est certain que cette secrétion continue : en effet, d'une part l'hypophysectomie entraîne l'avortement, d'autre part, l'hypophyse subit des modifications anatomiques importantes et précoces au cours de la gestation, et les hypophyses de sujets gravides se montrent actives quand on les implante à des animaux normaux.

L'urine possède la propriété de stimuler le tractus génital dans des conditions où le développement placentaire ne peut être mis en cause,

urine de cancéreux (Zondek et Aschheim), urine du septième jour de la grossesse (Brouha et Simonnet).

Il est donc possible que le principe gonadotrope trouvé dans l'urine soit d'origine hypophysaire.

Si certains auteurs (Orban et Watrin, Fels, etc.) n'ont pas retrouvé chez la femelle impubère des effets analogues à ceux que l'on obtient par l'implantation de lobe antérieur frais ou l'injection d'extraits antéhypophysaires, d'autres expérimentateurs ont, au contraire, constaté une analogie parfaite entre les deux actions quand ils ont employé une dose d'urine convenablement choisie (Zondek et Aschheim, Brouha et Simonnet, Watrin de Nancy, Evans et Simpson).

En outre, l'action sexuelle des extraits de lobe antérieur est parfaitement comparable à celle de l'urine quand on expérimente sur le mâle.

Si le placenta intervient, comme le pensent Aron et Klein, c'est vraisemblablement par la production d'une substance analogue à l'hormone antéhypophysaire, car rien ne permet, à l'heure actuelle, de distinguer biologiquement le principe génital contenu dans l'urine, du principe génital contenu dans le lobe antérieur.

En conclusion, l'origine placentaire exclusive de l'hormone sexuelle présente dans l'urine gravidique, ne nous paraît pas démontrée.

A notre sens, l'analogie entre le principe sexuel hypophysaire et celui de l'urine de femme enceinte justifie leur identification, mais celle-ci ne pourra évidemment être établie avec certitude qu'à partir du moment où l'on connaîtra la nature chimique de ces principes.

Quelle que soit la conclusion à laquelle conduiront les recherches entreprises à ce sujet, le diagnostic biologique de la grossesse basé sur la présence d'un principe gonadotrope dans l'urine des femmes enceintes reste valable, puisque ce principe n'est pas décelable dans l'urine des femmes non enceintes et qu'on le trouve toujours dès qu'il y a grossesse.

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DU RÔLE DU GLUTATHION DANS LA CROISSANCE NORMALE ET MALIGNE

par Jean FIRKET

Professeur à l'Université de Liége.

Il y a trois ans que nous avons commencé MM. Vivario et Lecloux, M[lle] Comhaire et moi des recherches sur le rôle du glutathion dans la croissance normale et maligne. Ces recherches nous avaient été inspirées par les travaux si importants de Warburg et de ses collaborateurs qui visent, comme on sait, l'étude des libérations d'énergie que produit, dans les tissus embryonnaires, adultes ou cancéreux, l'association des phénomènes de respiration cellulaire et de glycolyse. A ces travaux, se rattachent fatalement ceux qui cherchent à pénétrer le déterminisme des phénomènes de respiration cellulaire et étudient ce que l'on appelle les catalyseurs d'oxydation. On sait, que le glutathion ou du moins les corps organiques à groupement thiol exercent des fonctions de catalyseurs d'oxydo-réduction par la faculté qu'ils ont de passer alternativement de la forme réduite ou R-SH à la forme oxydée ou R-SS. La forme R-SH est décelée par la réaction colorante spécifique au nitro prussiate de soude découverte par Hefter.

L'intérêt du glutathion ou des corps du même groupement, dans les phénomènes de croissance, apparaît à la suite de certains travaux comme celui de Schaerer qui, le recherchant sur les œufs non mûrs d'oursins, ne le trouva pas, alors que quand les œufs devenaient mûrs la réaction devient faiblement positive et qu'aussitôt après la fécondation elle le devient fortement ; d'autre part, on sait que la fécondation des œufs d'oursins augmente six à sept fois leur intensité respiratoire.

En 1926, Voegtlin et Thomson observèrent, au niveau des tumeurs malignes, des teneurs en glutathion très supérieures à celles des tissus normaux et comparables à celles du foie, c'est-à-dire de l'organe qui en contient le plus ; ils avaient émis l'hypothèse, après leurs études sur les rats porteurs de greffes sarcomateuses, que lorsqu'une tumeur croît rapidement et qu'elle est riche en glutathion, elle prive les autres tissus de leur contenu normal et ils avaient envisagé là une possibilité de s'expliquer la cachexie cancéreuse. Nous avions repris la question, en 1927, par une méthode de dosage un peu différente et nous avions recherché quel était le comportement en glutathion des tissus de même nature morphologique qu'ils soient malins ou non ; pour cela, nous avions utilisé des souris greffées avec un sarcome qui donnait 100 % de greffes positives ; nous avons dosé le glutathion dans

les tumeurs, après évidement des portions nécrotiques ; nous l'avons dosé dans les tissus mésenchymatiques correspondants (queue et masses musculaires), puis dans le foie, la rate et les reins ; ainsi que sur les embryons de souris. Nous avons également observé que les régions vivaces des tumeurs sont riches en glutathion mais que celui-ci n'est pas caractéristique de la malignité ; les tissus en croissance rapide ou en fonctionnement actif comme les embryons et le foie en contenant autant ou parfois plus que les sarcomes.

Quoique ces recherches aient montré que le glutathion ne soit pas un facteur de malignité, son intervention au début de la croissance semble certaine par des travaux comme ceux de Schaerer, et d'autres comme Cahn et Bonot, Kitamura, Parker.

C'est ce qui nous avait décidé avec Vivario et Lecloux à rechercher son comportement au niveau des pois en croissance. On sait que le premier phénomène de la croissance de la plante est un phénomène d'hydratation : une graine semée ou mise dans l'eau gonfle d'abord puis le germe se développe. Vivario et Lecloux ont montré que l'hydratation des pois secs qui ne contiennent pas de glutathion en amène la formation de grosses quantités endéans quelques heures, la courbe atteignant son maximum lorsque le pois a absorbé son maximum d'eau. La température accélère le processus de formation.

M[lle] Comhaire et moi avons repris cette étude sur des pois secs ensemencés sur sciure de bois humectée d'eau. Nous avons comparé la teneur en glutathion des pois en croissance normale et de ceux dont la croissance avait été fortement retardée par des irradiations, pensant par là mettre en évidence le rôle éventuel du glutathion dans l'inhibition produite par les rayons X sur les cellules en voie de développement. Nous avons reconnu que le glutathion, élaboré en forte quantité au début de l'hydratation de la graine, commençait à diminuer à partir du cinquième au septième jour, puis à atteindre des chiffres très faibles aux environs du treizième et quinzième jour ; or, la chute de la courbe s'est montrée d'autant plus rapide que le développement des plantes était plus fort, au moins si la plante croît à la lumière ; car c'est au niveau de la plantule verte que le glutathion disparaît en premier lieu et il reste au contraire élevé si la plantule continue à croître à l'obscurité en dehors de toute fonction chlorophylienne.

D'autre part, nous avons recherché la localisation topographique sur les coupes et nous avons vu qu'il n'y avait pas de parallélisme de localisation entre les zones de multiplication cellulaire et celles où le glutathion était histo-chimiquement le plus facilement décelable.

Enfin, estimant que le rôle du glutathion semble surtout important au début du développement cellulaire, nous avons cru que sa détection histo-chimique, ausi bien qualitative que quantitative, sur les coupes histologiques où l'on pourrait en même temps suivre les mitoses aurait de l'importance, nous avons mis au point une méthode qui nous a permis de déceler avec une approximation relative suffisante l'intensité de la

teneur en glutathion d'un tissu examiné en coupes de 40 μ. Cette méthode basée sur l'oxydation du glutathion par des solutions progressivement croissantes d'iode, avant la recherche de la réaction au nitroprussiate nous a permis d'établir sur coupes de pois en croissance une courbe absolument parallèle à celle que nous avions pu obtenir auparavant par l'extraction chimique. Cette méthode aura, par conséquent, son utilisation dans des expériences où l'on voudra rechercher le rôle du glutathion dans les déclanchement de multiplication cellulaire dont la biologie connaît actuellement d'assez nombreux exemples.

LE RÉGLAGE HUMORAL

(*Travaux du laboratoire de physiologie, Bruxelles*)

par J. DEMOOR,

Professeur à l'Université de Bruxelles

Les globules blancs réagissent aux excitants (Héger; Massart et Ch. Bordet ; Everard, Demoor et Massart ; Dineur ; De Meyer). Le réglage de leur irritabilité par voie humorale acte l'importance du rôle des humeurs dans la vie réactionnelle de l'organisme.

La glande sous-maxillaire irriguée au sérum de Locke + sérum sanguin, sécrète lors de l'excitation de la corde du tympan ; elle sécrète aussi, en dehors de toute intervention nerveuse, quand le liquide d'irrigation est enrichi d'un peu de salive (Demoor 1911). Guimarâis confirme et complète ces recherches en 1930. En 1913, Hustin démontrait que la sécrétine, d'origine intestinale, intervient dans le pancréas, tout comme le ferait un mordant, en permettant à une substance globulaire d'atteindre la substance propre de la cellule glandulaire.

L'excitation nerveuse peut donc être remplacée, dans le mécanisme de la sécrétion, par un facteur humoral éveillé par une excitation nerveuse, dont il parachève l'effet.

La réaction paraît être la conséquence d'un changement intime de la matière organique, rendu possible grâce à la plasticité de cette dernière.

*
* *

La plasticité fonctionnelle avait été étudiée antérieurement : Demoor (1896-1898), Querton (1898), Stefanowska (1897), Geeraerd (1901), Dustin (1906), Renault-Capart (1921), dans le neurone. — Elle peut être envisagée aussi dans le cœur.

Les expériences de Demoor (1922) et celles de Rylant (1924) prouvent que le cœur isolé du lapin vacciné par la substance thyroïde de chien, ou par un sérum hétérogène, réagit spécifiquement au contact des antigènes ; et que la relation entre ses réactions et les changements de son architecture intime sont réels. Il y a peut-être lieu de chercher dans des phénomènes de cet ordre la solution de la question : Comment le cœur bat-il ?

Depuis 1923, jusqu'à ce jour 1930, les faits suivants furent démontrés et interprétés de la manière suivante.

Wybauw et Lewis avaient prouvé que la révolution cardiaque commence au niveau du nœud de Keith. Rylant, au cours de ses recherches, put localiser le lieu d'origine dans la veine cave supérieure.

Les deux oreillettes, Dr. et G., isolées en masse battent normalement dans le sérum glucosé, chauffé et oxygéné. Séparées l'une de l'autre, la Dr. continue son mouvement, tandis que la G., après une phase de passivité, devient le siège d'une succession irrégulière de secousses espacées et inégales, et d'une sensibilité anormale et faible à l'adrénaline, au Ca., et à la chaleur (Demoor 1923).

Or, l'addition à l'oreillette G., siège d'un tel automatisme, d'une petite quantité d'un extrait aqueux ou alcoolique du nœud de Keith de n'importe quel animal, provoque l'apparition d'une motricité et d'une sensibilité cardiaques normales.

Les « *substances actives* » qui déterminent ce changement d'allure de l'oreillette G., possèdent une double fonction, ou renferment deux agents distincts. En effet, chauffées à plus de 55°, elles ne rythment plus l'oreillette G : leur *pouvoir excitant* est détruit ; mais elles permettent encore le retour du rythme par intervention de l'adrénaline, qui sans ce secours est tout à fait inopérante : leur *pouvoir sensibilisateur* est donc conservé. Chauffées à plus de 65° les « *substances actives* » perdent les deux propriétés (Demoor et Rylant 1928). Ces différents faits, confirmés par Deloyers (1928), M[lle] Hoebaerts (1928), et tout récemment par Bain d'Edimbourg, ne sont pas compris par les expérimentateurs qui essayent de les dépister dans le cœur de la grenouille, dont la structure ne permet pas de les observer, ou ne songent pas, dans leurs expériences sur les mammifères, à différencier les deux propriétés des « *substances actives* ». L'école de Vienne a affirmé que « ces *substances actives* » sont de l'histamine. Les expériences, non publiées encore, de M. Linz prouvent que l'histamine n'a aucune action excitatrice sur l'oreillete G.

Les « *substances actives* » furent retirées ultérieurement de tous les territoires nodaux, notamment du tissu sous endothélial, (Demoor et Rylant 1925, M[lle] Hoebaerts 1928).

Leur action physiologique fut prouvée par Rylant (1925) et par Deloyers (1928).

Rylant (1925) démontra que le déplacement topographique du nœud de Keith dans l'oreillette Dr. du chien entraîne un court ralentissement cardiaque, suivi, au bout de une à six heures, soit donc avant toute restauration tissulaire, d'un rythme cardiaque normal. Ce rythme persiste si la greffe continue à vivre, cas le plus fréquent ; il se ralentit progressivement et devient tawarien et coronaire si le greffon dégénère. Une telle régression est fatale quand le greffon utilisé provient d'un animal d'une autre espèce que celle de l'animal opéré : dans tous les cas de cette espèce, le rythme est définitivement tawarien au bout de trois semaines. Ces expériences

démontrent que la fonction ordonnatrice du nœud de Keith est d'ordre humoral.

Les expériences de Deloyers (1928) confirment cette dernière interprétation. Une oreillette G. isolée, séparée en deux moitiés restant unies par un pont étroit, mais suffisant pour permettre la conduction, est immergée dans un bac à deux compartiments étanches, de telle sorte qu'une des moitiés restera plongée dans la solution de Locke glucosée, tandis que l'autre sera soumise à l'action de la solution glucosée enrichie de « *substances actives* ». Au début de l'expérience les deux moitiés fournissent le même travail typique de l'oreillette G. Après addition de « *substances actives* » au contenu d'un des bacs, la moitié d'oreillette G. qui y est plongée accepte le rythme cardiaque et manifeste une sensibilité typique à l'adrénaline, au Ca et à la température ; l'autre moitié, grâce à la conduction qui se fait par le pont, se rythme mais reste apparemment insensible à l'adrénaline, au Ca et à la chaleur.

En réalité, la moitié de l'oreillette G. influencée par les « *substances actives* », dont la structure est gauche et qui est dépourvue de tissu nodal, devient fonctionnellement droite, et, par conduction, agit comme « *pace maker* » sur l'autre moitié qui se rythme sans se sensibiliser, et fonctionne tout comme le fait l'oreillette G. entière dans un cœur normal.

D'après ces expériences un cœur actif représente un myocarde à automatisme irrégulier, humoralement réglé par des « *substances actives* » d'origine nodale.

Des réglages semblables, mais non identiques, paraissent intervenir dans les appareils à activité automatique : vessie, uretère, intestin (Dumont et Lahaye 1925, Van Slype 1928).

*
* *

Le cœur, muscle humoralement réglé par le tissu nodal, possède des modalités de conduction dont l'exploration poursuivie par Rylant (1929-1930) présente des caractères importants dont quelques-uns sont déjà bien définis.

Par des déterminations chronaximétriques précises, Rylant a montré qu'il existe à la face endocardique de l'organe un système de conduction autonome à propriétés d'excitabilité et de conduction typiques, et étant le siège d'une contractilité à allure plus lente que celle du myocarde.

Par l'étude approfondie des myogrammes et des électrogrammes correspondant aux phénomènes, il a démontré aussi que la conduction peut passer de l'endocarde dans le myocarde avec un temps perdu assez grand, et que ce passage est inhibé par la strychnine et facilité fortement lors de l'excitation du vague.

Ces premières constatations font entrevoir bien d'autres phénomènes

curieux et caractéristiques dont il ne peut être question ici. Il est impossible de se figurer actuellement quels sont les rapports qui existent entre les manifestations de la conductibilité cardiaque et les mécanismes du réglage intime des fonctions contractiles étudiées plus haut.

*
* *

Certains phénomènes humoraux surgissent dans la trame du cœur à l'occasion du travail des nerfs vagues et sympathiques.

Loewi (1921) signala le premier que le liquide d'irrigation d'un cœur de grenouille immobilisé par l'excitation du vague, inhibe, humoralement, un cœur neuf de grenouille. Rylant (1926) démontra le même fait dans le cœur du chat. Depuis lors, les rapports fonctionnels des deux réglages humoraux du cœur sont étudiés.

Avec Hamburger, nous nommerons les substances qui sortent du cœur avec la solution d'irrigation lors de l'excitation du vague ou du sympathique, substances mimétiques du vague ou du sympathique, ou substances vagales et sympathiques, ou substances mimétiques. Nous actons d'ailleurs que cette terminologie, qui facilite l'exposé des faits, correspond exclusivement à l'affirmation de l'identité complète des effets produits par l'excitation des nerfs cardiaques, ou le passage dans un cœur neuf des liquides irrigateurs provenant du cœur inhibé ou excité par les nerfs (Demoor et Rylant 1927).

Les substances mimétiques, qui naissent lors de l'excitation des nerfs, surgissent dans la trame de l'organe au cours d'un phénomène indépendant de celui qui les rend actifs sur le myocarde ; c'est ainsi que le cœur atropinisé, ne réagissant plus à l'excitation du vague, produit cependant des substances vagales actives sur un cœur neuf. — Le genèse de ces substances représente un des actes de la série des phénomènes déclanchés par l'excitant nerveux, une des composantes de l'excitabilité.

*
* *

Les « *substances actives* » ne modifient pas les propriétés chronaxiques du myocarde (Demoor et Rylant 1929). Leur action qui ne s'accompagne d'ailleurs d'aucune fatigue, modifie les caractéristiques du travail, n'implique aucune manifestation classique d'irritabilité et possède tous les caractères de celles dues à l'influence du milieu. Par contre, les substances mimétiques, vagale et sympathique, changent la chronaxie du tissu contractile du cœur ; la première la diminue et la seconde l'augmente. Leurs effets, identiques à ceux produits par le travail nerveux, s'estompent et s'épuisent rapidement par fatigue.

Les « *substances actives* », qui orientent sans fatigue le travail de la fibre contractile ; et les substances mimétiques, qui influencent quantitativement et temporairement ce travail par un mécanisme de passage d'une

action à une autre action, œuvrent simultanément dans le cœur sans se détruire (Demoor et Rylant 1927). Mais dans des conditions déterminées, les « *substances actives* » peuvent modifier les effets des substances mimétiques en empêchant ces dernières d'atteindre l'élément contractile. D'où réglage possible.

*
* *

L'excitabilité n'est qu'un mot, car rien ne particularise intégralement les phénomènes qu'elle détermine. La variation des complexes constitutifs de la matière que comportent les phénomènes organiques, donne lieu soit à des phénomènes de nutrition, créateurs d'énergies et de formes sans cesse renouvelées, soit à des réactions brèves provoquées par des excitations brusques et périodiques, sans que le mécanisme intime de la génèse se particularise d'après la nature du phénomène produit.

Les « *substances actives* » du cœur stabilisent et fixent une des possibilités de la mutation énergétique de l'organe, celle qui correspond à son travail rythmé. Lorsque des excitations vagales ou sympathiques interviennent, le dynamisme tissulaire change brusquement, ainsi que le démontre l'apparition des substances mimétiques. Le trouble profond et non réversible, qui apparaît ainsi ne persiste pas longtemps, parce que des mécanismes compensateurs interviennent aussitôt, dus, en partie, à l'intervention des « *substances actives* ». Et réapparaît alors l'équilibre organique, représenté par les activités réversibles premières, qui entraîne la reprise et la continuation du mouvement rythmé.

Ces différents phénomènes qui s'associent étroitement, ne sont pas d'essence différente, et il est donc fautif de faire intervenir une propriété d'excitabilité pour expliquer les uns, quand on ne juge pas nécessaire de faire appel à une puissance équivalente pour apprécier les autres (Demoor et Rylant 1929).

A PROPOS DU PRINCIPE GONADOTROPE CONTENU DANS LES EXTRAITS DE LOBE ANTÉRIEUR ET DANS L'URINE DE FEMME ENCEINTE

par L. BROUHA et H. SIMONNET

L'implantation de lobe antérieur d'hypophyse et l'injection de certains extraits de cette glande exercent une action stimulante sur le tractus génital mâle ou femelle, (Smith et Engel ; Lœwe et Voss ; Zondek et Aschheim ; Brouha et Simonnet ; Evans et Simpson, etc.), ainsi que sur la thyroïde (Aron ; Crew et Wiesner).

Inversement, l'ablation de l'hypophyse produit, entre autres effets, la dégénérescence du tractus génital et de la thyroïde. Ces modifications sont spécifiquement réparées par l'implantation d'antéhypophyse.

Il est donc bien établi que le lobe antérieur possède, outre son action favorisante sur la croissance générale, une action stimulante sur la thyroïde et sur le développement du tractus génital.

Ces deux dernières actions se retrouvent dans l'urine humaine, mais il existe une différence fondamentale entre les effets que l'urine exerce sur la thyroïde d'une part et sur le tractus génital d'autre part. La première action, toujours faible, s'obtient avec toutes les urines (Aron et Klein); l'autre, au contraire, qui n'est jamais provoquée par l'urine de femme normale, atteint une intensité considérable quand on emploie l'urine de femme enceinte. Cette action peut être obtenue avec certaines urines d'homme, mais, dans ce cas, la stimulation est toujours moindre qu'avec l'urine de femme enceinte (Engel, Laurent, Brouha et Simonnet).

Il existe donc, dans l'urine gravidique comme dans les extraits antéhypophysaires, un principe qui agit sur les glandes sexuelles et un principe que agit sur la glande thyroïde.

Quelle est l'origine de la substance gonadotrope contenue dans l'urine de femme enceinte ?

Pour certains, elle serait d'origine placentaire ; pour d'autres, d'origine hypophysaire

Discutons ces deux hypothèses. En dehors de la gestation, l'hypophyse sécrète de l'hormone gonadotrope qui ne passe dans l'urine qu'en quantité très faible (Zondek). Pendant la grossesse, il est certain que cette secrétion continue : en effet, d'une part l'hypophysectomie entraîne l'avortement, d'autre part, l'hypophyse subit des modifications anatomiques importantes et précoces au cours de la gestation, et les hypophyses de sujets gravides se montrent actives quand on les implante à des animaux normaux.

L'urine possède la propriété de stimuler le tractus génital dans des conditions où le développement placentaire ne peut être mis en cause,

urine de cancéreux (Zondek et Aschheim), urine du septième jour de la grossesse (Brouha et Simonnet).

Il est donc possible que le principe gonadotrope trouvé dans l'urine soit d'origine hypophysaire.

Si certains auteurs (Orban et Watrin, Fels, etc.) n'ont pas retrouvé chez la femelle impubère des effets analogues à ceux que l'on obtient par l'implantation de lobe antérieur frais ou l'injection d'extraits antéhypophysaires, d'autres expérimentateurs ont, au contraire, constaté une analogie parfaite entre les deux actions quand ils ont employé une dose d'urine convenablement choisie (Zondek et Aschheim, Brouha et Simonnet, Watrin de Nancy, Evans et Simpson).

En outre, l'action sexuelle des extraits de lobe antérieur est parfaitement comparable à celle de l'urine quand on expérimente sur le mâle.

Si le placenta intervient, comme le pensent Aron et Klein, c'est vraisemblablement par la production d'une substance analogue à l'hormone antéhypophysaire, car rien ne permet, à l'heure actuelle, de distinguer biologiquement le principe génital contenu dans l'urine, du principe génital contenu dans le lobe antérieur.

En conclusion, l'origine placentaire exclusive de l'hormone sexuelle présente dans l'urine gravidique, ne nous paraît pas démontrée.

A notre sens, l'analogie entre le principe sexuel hypophysaire et celui de l'urine de femme enceinte justifie leur identification, mais celle-ci ne pourra évidemment être établie avec certitude qu'à partir du moment où l'on connaîtra la nature chimique de ces principes.

Quelle que soit la conclusion à laquelle conduiront les recherches entreprises à ce sujet, le diagnostic biologique de la grossesse basé sur la présence d'un principe gonadotrope dans l'urine des femmes enceintes reste valable, puisque ce principe n'est pas décelable dans l'urine des femmes non enceintes et qu'on le trouve toujours dès qu'il y a grossesse.

RECHERCHES SUR LA PHYSIOLOGIE ET LA PHARMACOLOGIE DE LA CIRCULATION ET DE LA RESPIRATION, RÔLE DES SINUS CAROTIDIENS

par le Docteur C. HEYMANS,
Professeur à l'Université de Gand
(Institut de pharmacodynamie et de thérapie de l'Université de Gand)

Au cours de ces dernières années, J.-F. Heymans, C. Heymans et leurs collaborateurs A. Ladon, L. Remouchamps, J.-J. Bouckaert, De Necker, Huyghebaert, Matton, P. Regniers, E. Renz, J. Dalsace, Soenen, De Cloedt, Van Canneyt, Pupco, B. Heymans-May, M. Heymans, F. Derom, E. Derom, Van Uytvanck et Warnant, se sont particulièrement attachés à l'étude de problèmes intéressant la physio-pharmacologie de la thermo-régulation, de la respiration et de la circulation, ainsi que d'une série de questions ayant un rapport direct avec la toxicologie et la pharmacothérapie.

Sur la demande du Comité du Congrès national des Sciences, nous donnons ici un aperçu très succinct de quelques travaux concernant la physiologie et la pharmacologie de la circulation et de la respiration. Au cours de ces recherches, J.-F. Heymans, C. Heymans et leurs collaborateurs A. Ladon, L. Remouchamps, J.-J. Bouckaert et P. Regniers ont élaboré et appliqué une série de méthodes expérimentales essentiellement basées sur la perfusion d'organes « isolés » maintenus en connexions nerveuses avec le reste de l'organisme afin de dissocier les actions d'origine nerveuse centrale des actions d'origine périphérique et réflexe. Ces différentes techniques appliquées chez les chiens anesthésiés, sont entre autres :

a) la perfusion, par un chien A de la tête « isolée » d'un chien B, tête uniquement reliée au tronc B soit par les nerfs vagues-dépresseurs, soit par la moelle cervicale ;

b) la perfusion de la tête « isolée » au moyen d'une pompe de perfusion artificielle ;

c) la perfusion, chez un chien, soit des cœur-poumons « isolés », soit du cœur « isolé », soit des poumons « isolés », ces organes étant uniquement reliés par l'intermédiaire des nerfs vagues-dépresseurs à la tête « isolée » et « perfusée » ;

d) la perfusion, chez un chien, des sinus carotidiens « isolés », reliés au reste de l'animal par leur innervation ;

e) la perfusion *in situ* de la rate « isolée » d'un chien B, rate intercalée dans la circulation carotido-jugulaire d'un chien A ;

f) la perfusion du train postérieur « isolé » maintenu en connexion nerveuse avec le reste de l'animal.

Résumons quelques faits acquis grâce à ces différentes techniques.

A. — Sur la régularisation de la fréquence du cœur et de la pression artérielle

1° *Action de l'anémie sur la tête « isolée » et sur le centre cardio-régulateur vagal*

L'anémie aiguë de la tête « isolée » détermine une excitation très intense du centre cardio-inhibiteur, ainsi qu'en témoigne la bradycardie pouvant aller jusqu'à l'arrêt du cœur du tronc uniquement relié à la tête par les nerfs vagues.

2° *Action de l'asphyxie sur la tête « isolée » et sur le centre cardio-régulateur vagal.*

En asphyxiant la tête « isolée » à l'exclusion du tronc, on peut enregistrer la réponse du centre cardio-inhibiteur à l'asphyxie purement céphalique. L'asphyxie du chien perfuseur A et ainsi de la tête « isolée » de B, provoque une forte bradycardie chez le tronc B uniquement relié à la tête B par les nerfs vagues. L'asphyxie est donc une cause de cardio-inhibition, d'origine centrale.

3° *Mécanisme de la régulation de la fréquence du cœur en rapport avec la pression sanguine, origine du tonus cardio-modérateur vagal et du tonus cardio-accélérateur sympathique.*

On sait, depuis Marey, qu'une augmentation de la pression sanguine s'accompagne d'un ralentissement du cœur tandis qu'une diminution de la pression sanguine provoque une accélération du cœur. « Le cœur règle le nombre et la force de ses battements sur les résistances qu'il doit vaincre à chacune de ses systoles. » Entre la bradycardie hypertensive et la tachycardie hypotensive se place le rythme cardiaque de la pression normale, ce rythme est maintenu par le tonus cardio-modérateur des nerfs vagues et le tonus cardio-accélérateur des nerfs sympathiques. Le mécanisme de cette cardio-régulation a déjà fait l'objet de nombreux travaux ; la pression sanguine agit-elle directement sur les centres cardio-régulateurs ou bien agit-elle indirectement par les voies réflexes? Différents auteurs ont successivement appuyé l'une et l'autre hypothèse ; il est en effet difficile de trancher cette question chez un animal en totalité où les actions centrales et réflexes peuvent se superposer. Il est indispensable de dissocier l'influence des modifications de la pression artérielle centrale de l'influence des modifications de la pression artérielle périphérique sur la fréquence du cœur. Les techniques de perfusion de la tête « isolée » et des sinus carotidiens « isolés » ont permis de réaliser ces conditions expérimentales ; elles permettent en effet de modifier la pression uniquement soit dans la circulation céphalique, soit dans la circulation somatique, soit dans les sinus

carotidiens, tout en conservant entre la tête, le tronc et les sinus carotidiens, les voies nerveuses centripètes et centrifuges régulatrices du rythme cardiaque.

a) *Bradycardie et tachycardie réflexes d'origine cardio-aortique.*

Afin de déterminer une hypertension notable chez le tronc B, uniquement relié à la tête « isolée » de B par les vagues-dépresseurs ; on injecte de l'adrénaline ou de la pituitrine dans la veine saphène de B et on observe que l'augmentation de la pression artérielle uniquement somatique s'accompagne d'un ralentissement très notable du cœur ; cette bradycardie, qui fait défaut après la section des nerfs aortiques-dépresseurs reliant la tête B au tronc B, est donc réflexe.

L'hypotension chez le tronc B, déterminée par hémorragie, par exemple, provoque au contraire une accélération réflexe du cœur du tronc B. *La fréquence du cœur s'adapte donc à la résistance circulatoire somatique, cette régulation est réflexe.* Les techniques de perfusion des « cœurs-poumons isolés » et du « cœur isolé », ont permis de situer l'origine de ces réflexes cardio-régulateurs dans le cœur et la crosse aortique.

b) *Bradycardie et tachycardie réflexes d'origine céphalique.*

On sait que l'hypotension dans la circulation céphalique, par occlusion des carotides communes, provoque de la tachycardie ; le retour à la pression artérielle normale par désocclusion des carotides détermine un ralentissement cardiaque.

Les expériences sur la tête « isolée » ont démontré que l'hypertension circulatoire uniquement céphalique détermine un ralentissement très notable du cœur. L'hypotension dans la circulation artérielle céphalique détermine, au contraire, une accélération du cœur. *L'hypertension et l'hypotension dans la circulation céphalique sont respectivement stimulant et inhibiteur du tonus cardio-modérateur vagal.*

Une question se posait : la régulation de la fréquence du cœur en rapport avec la pression sanguine dans la circulation carotido-céphalique est-elle due à une action directe de la pression sanguine sur les centres bulbaires cardio-régulateurs ou bien à une action indirecte, c'est-à-dire à des réflexes d'origine céphalique ? D'après les recherches récentes de H.-E. Hering, les centres cardio-régulateurs seraient insensibles d'une manière directe à la pression sanguine ; l'hypertension ou l'hypotension artérielle céphalique ne provoquerait de la bradycardie ou de la tachycardie que par voie réflexe. Le point de départ des réflexes cardio-régulateurs d'origine céphalique se trouverait au niveau du « sinus carotidien », à la bifurcation de la carotide commune. Les voies centripètes de ce réflexe suivent le nerf carotidien. Ces conclusions ne furent pas acceptées par Anrep, Starling, Segall et Nash. Perfusant chez un chien B d'une part un de ses sinus carotidiens par l'intermédiaire d'un chien A, d'autre part la tête « isolée » de B par l'intermédiare d'un chien C, C. Heymans démontra que *les variations de pression dans la circulation artérielle céphalique influencent la fréquence cardiaque uniquement par l'intermédiaire d'une régulation réflexe d'origine sino-carotidienne.*

La régulation de la fréquence cardiaque en rapport avec la pression sanguine artérielle se fait donc par l'intermédiaire de deux réflexes : *a*) un réflexe d'origine somatique qui prend naissance au niveau du cœur et de la crosse de l'aorte et dont la voie centripète se trouve dans le nerf dépresseur de Cyon ; *b*) un réflexe d'origine céphalique qui prend naissance au niveau de la bifurcation des carotides (sinus carotidiens) et dont la voie centripète se trouve dans les nerfs du sinus carotidien. Les voies centrifuges de cette régulation réflexe de la fréquence cardiaque sont les nerfs pneumogastriques et sympathiques.

c) *Mécanisme de l'arythmie cardiaque respiratoire*

Dans d'autres recherches, J.-F. et C. Heymans démontrèrent que l'arythmie cardiaque dite respiratoire est d'origine centrale, ainsi que L. Fredericq l'avait déjà affirmé, et non pas d'origine réflexe pulmonaire ; l'arythmie cardiaque respiratoire subsiste, en effet, en l'absence de mouvements respiratoires des poumons.

d) *Hypertension intracranienne et bradycardie*

Le mécanisme de la bradycardie provoquée par la compression cérébrale, par l'hypertension intracranienne, qu'il ne faut pas confondre avec l'hypertension artérielle céphalique, fit également l'objet d'une série d'expériences qui montrèrent que *cette bradycardie est d'origine centrale directe* et déterminée par l'excitation du centre cardio-inhibiteur par l'anémie ou l'asphyxie et non pas par un réflexe sino-carotidien.

e) *Quelques actions pharmacologiques sur la fonction cardio-régulatrice vagale*

La nicotine, la lobéline, les cyanures, l'acétylcholine et la vératrine excitent d'une manière directe le centre cardio-inhibiteur vagal. Les digitaliques, au contraire, ralentissent le cœur par les voies réflexes des nerfs aortiques et sino-carotidiens et par leur action sensibilisante sur les terminaisons vagales du cœur. Les digitaliques renforcent donc le tonus cardio-inhibiteur vagal réflexe. L'adrénaline ne stimule pas directement le centre cardio-inhibiteur vagal ; la bradycardie primaire adrénalinique est réflexe et due à l'hypertension.

4° *Sinus carotidien, tonus vasomoteur artériel, adrénalino-sécrétion, volume cardiaque et pression veineuse*

C. Heymans et ses collaborateurs J.-J. Bouckaert et P. Regniers poursuivant leurs recherches sur la physiologie du sinus carotidien, montrèrent successivement que le sinus carotidien est une zone réflexogène régulatrice du tonus vasomoteur splanchnique et du tonus vasomoteur périphérique (méthode des trois manomètres d'après Nolf). Remarquons que toute élévation et diminution de la pression artérielle dans les carotides communes, dans les sinus carotidiens, déclenchent, par voie réflexe, respectivement de

la vasodilatation et de la vasoconstriction des vaisseaux céphaliques; le calibre des vaisseaux céphaliques s'adapte donc d'une manière réflexe à la pression carotidienne.

Dans une série de recherches, Tournade et Chabrol ont montré que l'hypotension artérielle stimule l'adrénalino-sécrétion tandis que l'hypertension l'inhibe. En combinant la méthode de la perfusion du sinus carotidien isolé avec la méthode d'anastomose surrénalo-jugulaire d'après Tournade, C. Heymans a mis en évidence que *les sinus carotidiens, le cœur et l'aorte sont les zones vaso-sensibles et réflexogènes régulatrices de l'adrénalino-sécrétion en rapport avec la pression artérielle.* La régulation réflexe de la sécrétion de l'hormone angio et cardio-tonique des surrénales se superpose et s'ajoute ainsi à la régulation réflexe et nerveuse de la fréquence du cœur et du tonus vasomoteur.

Dans d'autres recherches, C. Heymans, J.-J. Bouckaert et L. Dautrebande ont observé que le volume cardiaque, ainsi que la pression veineuse, sont influencés par les réflexes qui prennent leur origine au niveau des sinus carotidiens.

Les nerfs du sinus carotidien et les nerfs cardio-aortiques possèdent un tonus physiologique réflexe cardio-inhibiteur, vaso-dépresseur et inhibiteur de l'adrénalino-sécrétion. Ce tonus vaso-dépresseur, qui maintient la pression artérielle à son niveau normal, est entretenu et provoqué par la pression artérielle elle-même agissant comme stimulant sur les terminaisons des nerfs aortiques et sino-carotidiens. *La régulation et le maintien de la pression artérielle sont donc intimement liés à la sensibilité réflexogène spécifique des zones endo-vasculaires, sino-carotidiennes et cardio-aortiques.* L'énervation de ces zones vaso-sensibles provoque, ainsi que Hering et ses collaborateurs l'ont montré, de l'hypertension artérielle chronique avec dilatation du cœur, sclérose des vaisseaux et des reins, une hypertrophie des capsules surrénales (Goormaghtich et Elaut) ainsi que des phases intermittentes d'extra-systolies (P. Regniers).

Signalons que l'ergotamine, la yohimbine, les sels décalcifiants et la parathyroïdectomie suppriment les réflexes vaso-régulateurs du sinus carotidien. L'injection de calcium, d'hormone parathyroïdienne ou de vitamine D rétablit les réflexes vasomoteurs supprimés par la décalcification ou la parathyroïdectomie (C. Heymans, J.-J. Bouckaert et P. Regniers).

B. — Sur la régulation réflexe de l'activité du centre respiratoire

La circulation, la pression artérielle, la fréquence cardiaque et la ventilation pulmonaire sont des fonctions physiologiques indissociables. Résumons quelques faits expérimentaux recueillis par J.-F. et C. Heymans et J.-J. Bouckaert sur la régulation nerveuse et réflexe de l'activité du centre respiratoire et plus particulièrement sur les réflexes respiratoires dont les voies centripètes se trouvent dans les nerfs vaso-sensibles cardio-aortiques et sino-carotidiens, réflexes respiratoires d'origine circulatoire.

a) *Influences réflexes des conditions circulatoires somatiques et cardio-aortiques sur l'activité du centre respiratoire*

La tête « isolée » d'un chien B étant intercalée dans la circulation carotido-jugulaire d'un chien A, le tronc de B étant maintenu en vie par la respiration artificielle et uniquement relié à la tête isolée de B par les vagues-dépresseurs, J.-F. et C. Heymans observèrent que l'hyperventilation pulmonaire du tronc B, ainsi que l'hypertension artérielle (adrénaline, etc.) chez le tronc B, déterminent une inhibition réflexe, une apnée, du centre respiratoire de la tête B. L'asphyxie et l'anémie du tronc B provoquent par contre une excitation réflexe, une hyperpnée, du centre respiratoire de la tête B. En employant différentes méthodes expérimentales de perfusion des cœurs et poumons « isolés », les auteurs mirent en évidence que *ce sont les zones vasosensibles endovasculaires du cœur et de la crosse aortique, et non pas les poumons, qui constituent le point de départ de ces réflexes régulateurs de l'activité du centre respiratoire en rapport avec la pression artérielle et la composition du sang somatique.*

b) *Influences réflexes des conditions circulatoires céphaliques sur l'activité du centre respiratoire*

On sait que l'occlusion des carotides communes déclenche de l'hyperpnée, que l'aumentation de la pression artérielle dans la circulation artérielle carotido-céphalique détermine par contre de l'inhibition respiratoire, de l'apnée. Ces réactions respiratoires furent généralement attribuées à la sensibilité du centre respiratoire aux variations circulatoires. Les recherches de C. Heymans et J.-J. Bouckaert mirent d'abord en évidence que les modifications de pression artérielle réalisées uniquement dans les sinus carotidiens « isolés »» et perfusés, provoquent toutes les réactions respiratoires déclenchées par les modifications dans la circulation céphalique ; ils observèrent en outre qu'après énervation des sinus carotidiens, ni l'occlusion des carotides communes ni l'hypertension artérielle céphalique ne déclenchent encore des modifications de l'activité du centre respiratoire. Ces expériences démontrèrent donc que *les sinus carotidiens comme le cœur et la crosse aortique, sont des zones réflexogènes régulatrices de l'activité du centre respiratoire en rapport avec la pression artérielle.* D'autres expériences montrèrent que les sinus carotidiens sont des zones réflexogènes sensibles aux excitants chimiques et plus particulièrement à la concentration humorale en ion hydrogène et en CO^2. La perfusion des sinus carotidiens avec du liquide acide ou du sang asphyxique provoque, en effet, de l'hyperpnée et de la vaso-constriction réflexes, tandis que la perfusion avec du liquide alcalin ou avec du sang hyperventilé détermine de l'apnée et de la vaso-dilatation réflexes. *Les sinus carotidiens sont donc, comme le cœur et la crosse aortique, des zones vaso-sensibles aux excitants chimiques ; zones régulatrices, par voie réflexe, de l'activité des centres respiratoire, vasomoteur et cardio-régulateur en rapport avec le chimisme du sang artériel périphérique.*

Signalons enfin que l'apnée adrénalinique est une réaction réflexe

déclenchée par l'hypertension, l'apnée adrénalinique fait défaut après énervation des sinus carotidiens et des cœur-aorte.

L'espace nous fait défaut pour signaler avec quelques détails les autres recherches effectuées dans le laboratoire de pharmacodynamie sur la thermo-régulation : l'hyper- et l'hypothermie déterminées par des moyens physiques et leurs influences sur le métabolisme et les fonctions respiratoires et cardio-vasculaires ; l'hyperthermie provoquée par des substances stimulantes du métabolisme cellulaire, particulièrement le bleu de méthylène ; le rôle des glandes à sécrétions internes et du foie dans l'hyperthermie : l'influence de l'insuline sur le métabolisme, le glycogène et la thermorégulation. Ces travaux, ainsi que ceux sur la toxicologie des composés cyanogènes, sur l'action du formol sur les venins et la ricine, etc., sont publiés dans les *Archives internationales de pharmacodynamie et de thérapie* éditées par le laboratoire, revue dont trente-huit volumes ont paru pendant la période de 1895 à 1930.

RECHERCHES SUR LE TONUS ET LA CONTRACTURE DES MUSCLES SQUELETTIQUES

par Frédéric BREMER,

Agrégé à l'Université de Bruxelles

Introduction

Le mécanisme musculaire et la nature de l'innervation motrice de la contraction tonique posturale des muscles squelettiques des vertébrés sont encore discutés. Cependant, l'opinion tend à prévaloir actuellement que les différences, si réelles qu'elles apparaissent au premier abord, des contractions tonique et « phasique » n'impliquent pas une différence foncière de leur mécanisme neuro-musculaire, qui serait, dans les deux cas, de nature tétanique.

Mais cette identification, si elle est admise, des appareils neuromusculaires des contractions tonique et phasique ne résout pas encore complètement le problème du mécanisme du tonus postural, normal ou exagéré en hypertonie. Elle laisse inexpliquées certaines particularités remarquables des contractions toniques, notamment leur sensibilité élective à l'inhibition, à l'action de certains poisons (scopolamine sur la rigidité parkinsonienne) et de la fatigue. Elle ne rend pas compte de la possibilité de l'existence d'hypertonies musculaires pathologiques comme la rigidité parkinsonienne, de mécanisme apparemment réflexe et tétanique, et cependant non accompagnées d'une exagération concomitante des réflexes myotatiques cloniques (les réflexes dits tendineux), exagération qui caractérise les autres hypertonies réflexes, comme la rigidité de décérébration et la rigidité pyramidale de l'homme.

D'autre part, la physiologie expérimentale et la clinique nous offrent des exemples de contractures, qui, bien que leur déterminisme soit neuromusculaire, ne possèdent cependant pas du tout les caractères d'une contraction tétanique : tels sont, chez les amphibiens, la curieuse contracture décrite par Riesser et Simonson ; chez les mammifères, les phénomènes pseudomoteurs de Vulpian et de Sherrington, et les contractions dites myotoniques de la pathologie humaine.

Enfin, les contractions réversibles des muscles squelettiques normaux, que l'on peut déterminer par des procédés expérimentaux variés, représentent un mode de réaction musculaire très général, dont la signification, restée en somme très obscure, méritait d'être étudiée pour elle-même.

Les recherches ([1]) dont je me propose de vous exposer brièvement les résultats, ont trait à ces différents aspects de la question du tonus et des contractures réversibles des muscles squelettiques.

I. — *Action élective de faibles doses de curare sur la rigidité de décérébration et sur la rigidité tétanique locale*

Les appareils neuro-musculaires lents, les muscles lisses, par exemple, sont notoirement plus résistants à la curarisation que les muscles rapides. Si donc le tonus postural était, comme cela a été et est encore soutenu, l'expression d'une activité musculaire apparentée aux muscles lisses et commandée par une innervation spéciale, son abolition devrait nécessiter des doses de curare plus élevées que celles qui suffisent à paralyser la contractilité non tonique.

Bien au contraire, ainsi que je l'ai démontré avec J. Titeca et L. Van der Menen, le curare permet de réaliser une dissociation inverse, des plus intéressantes, des activités toniques et non toniques ; les hypertonies réflexes telles que la rigidité de décérébration et la rigidité du tétanos local, sont électivement sensibles au poison et peuvent être abolies à un stade de l'intoxication où la contractilité non tonique est encore intégralement respectée. Cette sensibilité élective du tonus postural à de petites doses, non paralysantes, de l'alcaloïde, est objectivée par les myogrammes du réflexe contralatéral d'extension ou de réflexe rotulien, qui, l'un et l'autre, apparaissent dépourvus de leur prolongement tonique, tout en ayant gardé leur énergie contractile initiale.

La triméthyloctylamine, base curarisante, permet de réaliser une dissociation semblable des activités toniques et phasiques (expériences sur la grenouille).

Après discussion des différentes causes possibles de cette sensibilité élective du tonus postural, et surtout des rigidités toniques, au curare, nous en avons cherché l'explication dans l'hypothèse que les influx moteurs du tonus, particulièrement lorsque celui-ci est exagéré en rigidité, ont une fréquence plus grande que les influx moteurs des contractions non toniques, ce qui permettrait le blocage électif des premiers par le mécanisme de l'inhibition de Wedenski, à leur arrivée aux jonctions neuro-musculaires curarisées.

Une sérieuse objection à cette hypothèse résulte de la constatation par Adrian et par Denny-Brown de la fréquence relativement basse (en général inférieur à 100 influx par seconde) de toutes les décharges nerveuses centrales y compris celles du tonus postural. Mais les travaux de Kato ont récemment démontré que le phénomène de Wedenski n'exige pas nécessairement une fréquence très grande des influx moteurs. Au surplus, les résultats de nos expériences de vérification, encore actuellement en cours,

([1]) Notes et mémoires précédents dans les *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 1928, 1929, 1930 ; le *Journal of Physiology*, 1929 ; les *Archives of Surgery*, 1929 (livre jubilaire de H. Cushing).

et d'autre part la démonstration, par Liddel et Olmsted, d'une sensibilité élective du réflexe myotatique tonique à un tout autre procédé de blocage des influx, sont favorables à l'hypothèse de l'intervention du mécanisme de Wedenski.

Ces expériences, tout en démontrant à nouveau la nature tétanique de l'innervation motrice du tonus, indiquent cependant que celle-ci possède, vraisemblablement dans sa fréquence, une particularité qui la distingue de l'innervation motrice des autres contractions réflexes et volontaires, et qui la rend électivement sensible à l'action des poisons curarisants. Cette antonomie fonctionnelle relative de l'innervation tonique, qui est probablement l'expression de la différenciation dans le névraxe des centres segmentaires (neurones intercalaires) et suprasegmentaires du réflexe tonique, rend compte, dans l'ordre pathologique, de la possibilité de l'existence d'hypertonies réflexes pures, non accompagnées d'exagération de la réflectivité phasique, telles que la rigidité parkinsonienne et la rigidité tétanique locale.

D'autre part, cette étude de l'action de faibles doses de curare suggère une autre déduction pathogénique intéressante. L'état de l'animal légèrement intoxiqué se caractérise par deux sympômes cardinaux : une hypotonie musculaire plus ou moins marquée, une fatigabilité rapide. Ce sont là précisément les deux symptômes essentiels de la myasthénie humaine, maladie d'étiologie obscure et de pathogénie encore très discutée. La ressemblance si frappante du syndrome de la myasthénie avec le syndrome d'intoxication curarique légère vient à l'appui de la pathogénie musculaire de cette maladie.

II. — *Antagonisme du curare et de l'adrénaline*

L'atonie curarique du chat décérébré nous a permis de mettre en évidence de la façon la plus nette l'antagonisme des actions musculaires du curare et de l'adrénaline : l'injection intraveineuse rapide à l'animal atonique d'une forte dose d'adrénaline fait réapparaître pendant quelques instants la rigidité de décérébration et les autres manifestations du tonus postural qui avaient totalement disparu.

Il s'agit bien là, nous nous en sommes assuré, d'un antagonisme vrai des deux alcaloïdes et par conséquent d'une action musculaire directe de l'adrénaline. Celle-ci agit, selon toute vraisemblance, en rétablissant momentanément par son action sur la chronaxie musculaire, inverse de celle du curare, la transmission neuro-musculaire des influx moteurs du tonus. Ce fait, venant à l'appui des idées de Cannon et d'Orbeli, constitue un nouvel argument en faveur de l'hypothèse d'une action (et d'une fonction) restauratrice de l'adrénaline et du sympathique sur le muscle squelettique.

III. — *Dualité contractile du muscle squelettique*

Les nombreuses contractures réversibles du muscle squelettique sont apparemment l'expression d'une contractilité très différente de la con-

tractilité ordinaire, rapide. Depuis Bottazzi, l'hypothèse a été souvent suggérée — et le plus souvent associée à une conception du tonus musculaire — qu'il s'agit là d'une véritable dualité contractile du muscle squelettique. Mais la démonstration n'avait pas été faite qu'à cette dualité manifeste des réactions visibles correspondait une dualité des excitabilités — plus particulièrement des vitesses d'excitabilité — des appareils responsables de ces deux modes d'activité musculaire.

Je crois avoir réussi à apporter cette preuve. Mes expériences ont été faites sur des grenouilles rousses, animaux dont les muscles sont doués normalement d'une remarquable aptitude à la contracture réversible. Je me suis assuré tout d'abord, confirmant en cela d'anciennes constatations de Biedermann, de l'importance déterminante de la *durée* des ondes électriques excitant directement le muscle, en ce qui concerne l'apparition de la contracture qui prolonge la secousse.

Dans des cas particulièrement favorables j'ai réussi à provoquer la contracture, sous forme d'une « secousse » lente, très régulière, par des courants de faible intensité, ne déterminant encore aucune trace de la secousse brève. Connaissant ainsi la rhéobase de la contracture,j'ai pu mesurer sa chronaxie et la comparer à la chronaxie de la secousse (chronaxie habituelle du muscle).

Cette chronaxie s'est révélée considérable, environ cent fois plus grande que celle de la secousse brève, mesurée sur le même muscle. Cette valeur élevée coïncide par contre remarquablement bien, avec celles qui ont été trouvées par Kodera et von Brücke pour la contracture vératrinique de la grenouille et par Bourguignon pour la contracture myotonique humaine.

Ainsi s'est trouvé démontrée, par la méthode chronaxique, la coexistence, dans un seul et même muscle, et très vraisemblablement dans les mêmes fibres musculaires, de deux excitabilités différentes, correspondant, l'une à l'appareil contractile dont la réaction est la secousse ou le tétanos, l'autre à l'appareil — ou à la substance excitable — se manifestant par la contracture.

IV. — *La contracture neuro-musculaire*

Alors qu'il est si facile de provoquer une contracture réversible des muscles des anoures par l'application *directe* de stimuli électriques ou pharmacologiques appropriés, tous les observateurs avaient été frappés du fait que, si l'on exclut la contracture de fatigue, il est impossible de provoquer une contracture d'emblée par la stimulation *indirecte* (nerveuse) du muscle. Une observation fortuite, qui fut le point de départ de mes recherches sur la question, m'a fait découvrir l'explication de ce paradoxe apparent.

En réalité, il est facile de provoquer régulièrement par la voie nerveuse motrice, une contraction lente, plus ou moins prolongée en contracture, du muscle squelettique, il faut utiliser le mécanisme de la sommation (addition latente) d'influx nerveux et opérer sur l'appareil neuro-

musculaire de la grenouille rousse ou du crapaud. L'expérience la plus simple consiste à appliquer sur le sciatique de la grenouille rousse deux chocs de rupture d'intensité supramaximale et d'intervalle croissant progressivement, depuis 0,5 σ, jusqu'à 10 σ, par exemple. On observe alors un phénomène remarquable : à partir d'un intervalle minimum des deux stimuli en général très peu supérieur à la période réfractaire absolue du nerf (±1.5 σ) la secousse brève du gastrocnémien est immédiatement suivie d'une contraction secondaire lente. La hauteur de cette secousse lente est une fonction régulière, d'abord croissante, puis décroissante, de l'intervalle des deux stimuli nerveux, par conséquent des deux salves d'influx moteurs. Lorsque l'intervalle dépasse une certaine valeur, qui est en général de 6 à 8 σ à la température ordinaire, toute trace du phénomène disparaît.

Une brève tétanisation préalable (de quelques secondes) favorise la mise en évidence du phénomène qui, dans ces conditions, est pratiquement constant chez la grenouille rousse récemment capturée.

D'autre part, lorsque deux stimuli successifs sont sans effet contracturant, une série plus longue des mêmes stimuli, convenablement espacés, s'avère en général efficace. Tout se passe, en somme, comme si les influx nerveux moteurs, en tout point comparables à des stimuli électriques brefs (chocs de rupture par exemple) excitant le muscle directement, ne déclanchaient la réponse de l'appareil contractile lent que par le mécanisme de l'addition latente.

Cette explication de la nécessité d'une sommation d'influx par l'hétérochronisme existant entre les fibres nerveuses motrices et l'appareil de la contracture, rend compte des remarquables propriétés de la contracture neuro-musculaire, en particulier de sa fatigabilité, qui est extrême, et de sa sensibilité élective à l'atropine et à la scopolamine.

Ces alcaloïdes, qui sont des poisons notoires des muscles lents, mais sont peu toxiques pour les muscles rapides, réalisent parfaitement la curarisation élective de la réaction lente. Par contre, le curare, poison des muscles rapides, ne la fait disparaître qu'à des doses qui diminuent plus ou moins fortement la hauteur de la secousse. Il y a là une intéressante confirmation des vues de Lapicque sur le mécanisme de la curarisation, qu'il explique, comme on sait, par l'altération toxique des propriétés de la fibre musculaire et la création, qui en résulte, d'un degré d'hétérochronisme neuro-musculaire rendant l'excitation du muscle impossible par l'influx nerveux

V. — *Signification physio-pathologique de la contracture neuro-musculaire. Pathogénie de la rigidité myotonique humaine*

La contracture neuro-musculaire qui vient d'être décrite apporte tout d'abord une explication très simple d'un singulier phénomème qui a été découvert, il y a quelques années, par Riesser et Simonson. La curieuse contracture, dépendant du système nerveux central, que ces auteurs ont décrite chez la grenouille rousse cocaïnisée est manifestement une contrac-

ture neuro-musculaire déclanchée par les décharges d'influx nerveux émises par les centres en état d'hyperréflectivité toxique. Contrairement à l'hypothèse de Riesser et Simonson, elle n'a aucune relation d'homologie avec la rigidité de décérébration des mammifères.

D'autre part, l'étude des propriétés et l'analyse du déterminisme de la contracture neuro-musculaire des anoures m'ont mis sur la voie de l'explication d'un syndrome dont la pathogénie était restée très obscure : la rigidité dite myotonique de la maladie de Thomsen (myotonie essentielle) ou des myopathies myotoniques.

Il y a entre la contracture myotonique qui fait suite à la contraction volontaire d'un Thomsénien, et la contracture neuro-musculaire des amphibiens une similitude frappante de propriétés : fatigabilité élective de la contracture ; sensibilité élective à de fortes doses d'atropine ; influence de la température ; faible tension contractile, contrastant avec l'importance du raccourcissement du muscle ; existence d'une manifestation électrique non oscillatoire, très grande chronaxie de l'appareil contractile lent ; nécessité d'une sommation de stimuli électriques brefs ou d'influx nerveux pour déclancher sa réaction.

Tout indique donc que la rigidité myotonique humaine est une véritable contracture neuro-musculaire, et qu'elle est la réponse de muscles pathologiquement contracturables à une sommation d'influx nerveux, volontaires ou réflexes. Pas plus que la contracture neuro-musculaire des amphibiens, elle n'a de relation avec le mécanisme du tonus postural, et sa sensibilité à de fortes doses d'atropine est un phénomène purement pharmacodynamique qui ne témoigne nullement d'une innervation parasympathique du muscle squelettique, dont il n'existe jusqu'à présent aucune preuve.

VI. — *Signification biologique générale de la dualité contractile des muscles squelettiques des vertébrés*

Les muscles squelettiques des vertébrés possèdent une aptitude à la contracture réversible qui, dans l'ensemble, tend à s'atténuer au cours de l'évolution phylogénétique. Ces contractures sont l'expression réactionnelle d'un appareil contractile lent, surtout dans sa décontraction; ayant une excitabilité propre, distincte de celle de l'appareil rapide ; et caractérisée par une chronaxie très élevée ; il est susceptible par ailleurs d'être activé par les influx nerveux moteurs ordinaires, grâce au mécanisme de l'addition latente. Cette réaction contractile est caractérisée encore par la faible tension qu'elle développe, contrastant avec un raccourcissement qui peut dépasser, et de beaucoup, celui de la secousse ; par son absence de propagation ondulatoire le long de la fibre ; par le caractère non oscillatoire de son électromyogramme.

Par ailleurs, les phénomènes chimiques et thermiques qui sont à la base des contractures réversibles ne paraissent pas différer *qualitativement* de ceux qui caractérisent le métabolisme de l'activité contractile tétanique.

La contracture réversible de muscle squelettique a des analogies remar-

quables avec le « tonus » des muscles lisses. Ce « tonus » des muscles lisses auquel correspond un état de viscosité musculaire très particulier (Winton), a une signification fonctionnelle assez nette, par exemple, adaptation sous faible tension du viscère contenant à son contenu. Par contre, la signification fonctionnelle des contractures réversibles des muscles squelettiques apparaît bien problématique. Peut-être ne s'agit-il que d'un phénomène vestigial.

Reste une dernière question. Faut-il rattacher les deux modes de contraction distincts du muscle squelettique à des parties différentes de la fibre, les myofibrilles et le sarcoplasme, par exemple? Jusqu'à présent cette conception, qui eut tant de succès, n'est restée qu'une simple vue de l'esprit, dépourvue de tout support expérimental. On ne peut invoquer à son appui qu'un argument d'ordre pathologique : l'aptitude à la contracture des muscles des mammifères qui, normalement est très faible, réapparaît et avec une intensité qui peut être extrême dans trois conditions physiopathologiques, assez disparates à première vue (la maladie de Thomsen, les myopathies myotoniques, la dégénérescence wallérienne du muscle), mais qui sont toutes les trois caractérisées histologiquement par une prolifération du sarcoplasme et une multiplication de ses noyaux, sans altération décelable des myofibrilles.

RAPPORT SUR L'ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE DU LABORATOIRE DE PHYSIOLOGIE DE L'UNIVERSITÉ DE LOUVAIN

par le Prof. J.-P. BOUCKAERT

Je me propose de résumer dans ce rapport, l'activité du laboratoire de Physiologie de l'Université de Louvain pendant les dix dernières années. Ce laboratoire a été dirigé jusqu'en 1927 par le Professeur A.-K. Noyons ; depuis cette date j'en ai repris la direction.

Bien que les recherches aient été exécutées dans des buts très variés, je me bornerai à décrire seulement celles qui ont été le plus activement poursuivies.

Je décrirai successivement les recherches suivantes :

1° Activité biologique des ions métalliques ;
2° Les méthodes calorimétriques ;
3° Action physiologique de l'insuline ;
4° Les propriétés mécaniques du muscle.

*
* *

1. — *L'activité biologique des ions métalliques*

Ringer a démontré qu'un liquide de perfusion ne contenant que des substances minérales peut suffire a assurer la survie du cœur de grenouille. Locke montra plus tard qu'il en est de même pour le cœur de mammifère. Overton a montré qu'une certaine teneur en NaCl était nécessaire à la contraction du muscle de squelette, et admettait que le NaCl isotonique entretient parfaitement la contraction musculaire.

L'emploi de solutions physiologiques contenant à la fois du Na, du Ca et du K, était considéré comme nécessaire pour le cœur. Pour le muscle de squelette, bien qu'on admettait en général que le NaCl seul, était toxique, ce qui se démontrait par les fibrillations et les anormalités de la contraction, la plupart des auteurs arrivaient à la conclusion que la contraction était possible en présence de NaCl isotonique, donc en absence de potassium et de calcium.

Le but des recherches entreprises dans notre laboratoire a été d'approfondir la modalité d'action de ces différents ions sur les divers tissus musculaires.

a) *Résultats obtenus avec le muscle cardiaque*

Si, en modifiant le liquide de perfusion du cœur de grenouille, l'on diminue la concentration d'un des sels présents, la survie du cœur devient

rapidement impossible ; cependant si l'on enlève à la fois tout le calcium, tout le potassium, et tout le chlorure de sodium, le cœur peut continuer à battre pendant des heures à condition que le liquide soit maintenu isotonique, et qu'il contienne une dose de bicarbonate de soude d'environ 400 milligr. au litre (Noyons et Cousy, Cousy 1922, Belehradek 1923).

En réalité, cette quantité de bicarbonate de soude sert à fournir au liquide de perfusion une quantité minimum d'ions sodium, en même temps qu'il joue le rôle de tampon. Ce phénomène a pu être mis en évidence en remplacant dans le liquide de perfusion le bicarbonate de soude par le mélange acétate de soude-borate de soude. Dans ces conditions, nous voyons que la contraction cardiaque est assurée à partir de 135 à 160 milligr. de Na^+ par litre, le pH étant maintenu à 7,8. Des doses supérieures de sodium font très rapidement diminuer la hauteur de contraction ; celle-ci disparaît lorsqu'on atteint 630 milligr. de Na^+ (Bouckaert et Gengoux 1924).

Ici, nous pouvons déjà faire un premier rapprochement avec l'action des ions sur le muscle de squelette. L'ion sodium est le seul indispensable au fonctionnement du muscle cardiaque ; à partir d'une certaine dose, son action devient toxique et doit être balancée par une dose appropriée de potassium et de calcium. Overton de son côté avait montré que l'ion sodium, à lui seul, pouvait suffire à maintenir la contraction du muscle de squelette à la dose minimum de 700 milligr. de NaCl au litre.

b) *Muscle de Squelette*

En perfusant le muscle *in situ*, on peut démontrer (Bouckaert et Belehradek 1923, 1924, 1927) que la contraction musculaire disparaît complètement, quand dans le Ringer normal on supprime le $Ca\,Cl_2$, cette disparition de la contraction est réversible. En confirmation des travaux d'Overton, on voit que le NaCl est le seul sel nécessaire, à la dose minimum de 0,7 ‰, les doses supérieures à 2 ‰ deviennent très rapidement toxiques et doivent être balancées par le $Ca\,Cl_2$ pour permettre la contraction, et ceci, contrairement à l'opinion de Overton. Il y a donc un parallélisme certain entre l'action des ions sur le muscle cardiaque et muscle de squelette. Pour les deux, le sodium est le seul ion nécessaire ; dans les deux cas, au delà d'une certaine dose, celui-ci devient toxique et doit être contrebalancé. Ce qui différencie les deux tissus c'est que les doses de sodium doivent être beaucoup plus fortes pour le muscle de squelette que pour le muscle cardiaque. Pour le muscle de squelette l'optimum au lieu de se trouver vers 160 milligr. de Na^+ au litre est aux environs de 825. Les doses minima sont dans les mêmes proportions.

En étudiant maintenant l'action des ions sur les contractures, nous arrivons aux résultats suivants : La contracture par l'acide lactique semble à première vue devoir se comparer à la contraction normale, d'après les idées généralement admises l'énergie de la contraction provenant de la formation d'acide lactique.

Cette contracture est influencée par le milieu ionique mais dans ce

cas-ci nous ne trouvons plus de minimum pour le NaCl. Si nous n'envisageons que le premier stade de la contracture (le stade réversible) l'optimum de Na^+ qui se trouvait à 825 milligr. pour la contraction musculaire et à 160 pour la contraction cardiaque, se trouve à 0 pour la contracture par l'acide lactique. Toute augmentation de sodium est nocive ; à moins d'être contrebalancée par du calcium (L. Cappellen 1930). Encore une fois parallélisme d'action, mais déplacement de l'optimum. Dans les trois cas de sodium est toxique, mais est plus nécessaire pour la contraction cardiaque que pour la contracture, et est plus nécessaire pour la contraction musculaire, que pour la contraction cardiaque.

L'explication est probablement celle-ci : La contraction se propage par l'intermédiaire du courant d'action, comme dans le modèle de Lillie. Pour que celui-ci puisse se propager, il faut que le milieu dans lequel plonge la fibre soit conducteur, de là le rôle du NaCl. Ce phénomène a d'ailleurs été mis en évidence par Pond.

La propagation de la contraction est un phénomène, exigeant une plus grande conductivité dans le muscle de squelette que dans le cœur, et qui, évidemment, n'a pas besoin d'être conduit par un courant d'action dans le cas de la contracture par l'acide lactique.

*
* *

A côté de ces recherches qui avaient comme but l'étude des modifications de la contraction musculaire, d'autres travaux avaient comme sujet l'étude de la modification de l'excitabilité.

Si l'on modifie le liquide de perfusion on peut indépendamment de la contractilité étudier l'excitabilité électrique de l'organe, ceci est d'autant plus important que l'excitation électrique repose probablement sur un déplacement d'ions à la surface de séparation de différentes phases du protoplasme.

La courbe liminaire voltages-temps pour le cœur de grenouille, montre que l'excitabilité évolue dans le même sens que la concentration de potassium ; la diminution relève les voltages, l'augmentation les diminue. Le calcium agit en sens inverse. La diminution de chlorure de sodium entraîne une diminution de l'excitabilité (Colle 1927).

La même étude entreprise par Bouckaert et Colle (1927) sur le muscle de squelette de la grenouille donne des résultats analogues.

Les influences des ions Na, K et Ca étant ainsi déterminées, il était intéressant de voir comment ces propriétés variaient quand on remplaçait ces ions par des corps de la même famille chimique.

La possibilité d'un pareil remplacement fut d'abord examinée (Dulière, Dulière et De Borgraef 1927, 1928). Dans le liquide de perfusion du cœur de grenouille, la possibilité de remplacement marche parallèlement à l'affinité chimique. C'est ainsi que les têtes de listes (*Glucinium* et *Lithium*) sont beaucoup moins aptes à remplacer leurs homologues naturels.

Etudiant systématiquement les anions monovalents, et les cations

monovalents et bivalents. (De Borggraef 1930) on parvient à mettre en évidence une loi très simple qui relie les poids atomiques de l'élément considéré et son effet sur l'excitabilité. L'intensité liminaire décroît avec le poids atomique pour les anions, et s'accroît avec le poids atomique pour les cations.

*
* *

2. — *Les méthodes calorimétriques*

Pour augmenter la précision des données obtenues en calorimétrie directe il était nécessaire de pouvoir suivre le dégagement calorique d'instant en instant. De cette façon, on pouvait construire une courbe de dégagement calorique ce qui rendait possible l'observation de variations autrement difficiles ou impossibles à enregistrer. Ces recherches ont abouti à la construction du calorimètre différentiel de Noyons. Cet appareil a rendu possibles les déterminations citées plus loin sur le dégagement calorifique sous l'influence de l'insuline ainsi que les expériences de Heymans sur le dégagement de chaleur sous l'influence des hyperthermiques.

D'un autre côté, des méthodes propres au laboratoire ont été réalisées en calorimétrie indirecte : Méthode gazo-analytique par voie ouverte (Cappellen, Noyons).

*
* *

3. — *Recherches sur l'insuline*

Les recherches sur l'insuline dans notre laboratoire ont débuté par des déterminations calorimétriques.

Le dégagement de chaleur a été suivi au calorimètre différentiel chez le lapin depuis l'injection d'insuline jusqu'à la mort, De cette façon, on a pu déterminer pour la première fois par la méthode directe le dégagement calorique depuis l'injection de l'insuline jusqu'à la mort de l'animal (Noyons, Bouckaert et Sierens 1924). Ces déterminations ont montré que malgré les élévations temporaires dues à la crise hypoglycémique, le niveau des combustions baissait progressivement. La somme totale des calories dégagées correspondait sensiblement à la réserve d'hydrates de carbone de l'organisme au moment de l'injection.

En empêchant l'hypoglycémie par injection simultanée de glucose et d'insuline, la chaleur dégagée par l'animal reste à peu près constante. Le niveau total des combustions n'est pas élevé par l'insuline malgré la disparition de grandes quantités de glucose (Bouckaert et Stricker 1924). Ceci ne nous renseignait que sur le niveau total des combustions. Reprenant la même technique (injection simultanée de glucose et d'insuline) on a suivi par après (Lamers) le métabolisme par la méthode indirecte, cette recherche tout en confirmant les données précédentes a montré que le métabolisme était reporté presque totalement sur les combustions d'hydrates de carbone ; l'animal ne brûle pas plus mais ne brûle que du glucose. Désirant être plus certain de la quantité de glucose qu'on peut arriver à faire disparaître chez un animal tout en maintenant la glycémie

normale on a plus tard tâché de réaliser la compensation de glucose insuline par voie intraveineuse (Bouckaert, De Nayer et Krekels 1929). La quantité maximum qu'on peut faire disparaître de cette façon est environ 1,26 gr. par kg. et par heure. De cette quantité, d'après les données de Lamers, un tiers seulement pourrait être brûlé, donnée qui peut être rapprochée de la proportion acide lactique brûlé, acide lactique resynthétisé en glycogène dans les travaux de Meyerhof.

Examinant ensuite ce que devient la quantité de glucose disparu, il a été montré que quand la glycémie est maintenue normale le glycogène musculaire n'augmente pas malgré la disparition d'énormes quantités de glucose. Le glycogène musculaire n'augmente que dans le cas où la glycémie dépasse la normale (De Nayer 1930).

Ce qui fait l'objet de recherches actuelles c'est de savoir si dans ces conditions le glucose disparu ne peut pas être retrouvé sous forme de glycogène hépatique.

*
* *

4. — *Propriétés mécaniques du muscle*

Le muscle est un organe dans lequel apparaît à un moment donné de l'énergie élastique, énergie qui peut éventuellement se transformer en travail correspondant au contenu de son diagramme tension-longueur. La partie de ce diagramme qui sera réellement livré sous forme de travail mécanique dépend de son hystérésis. La détermination physique des constantes mécaniques a une importance considérable étant donné qu'elles font prévoir le travail dont un muscle est capable dans des conditions déterminées. A ce point de vue là, les constantes mécaniques du muscle ont la même importance dans la physiologie musculaire, que la résistance des matériaux pour la science de l'ingénieur. De plus, ces propriétés étant dues à une structure physique du corps considéré, leur connaissance peut amener certaines conclusions concernant cette structure.

Que l'on puisse considérer le muscle comme un corps élastique possédant une certaine hystérésis a été mis en évidence par l'école de Hill. Si nous voulons définir ce qu'un certain muscle de longueur et de section déterminées, donnera de travail par son raccourcissement il nous faudra déterminer son module d'élasticité, et sa tension de départ. Ceci nous donnera son travail maximum. Si cependant, le corps n'est pas parfaitement élastique, s'il possède une certaine hystérésis, il faudra en plus connaître les constantes d'hystérésis. Les corps visco-élastiques peuvent en première approximation être assimilés mécaniquement à un système composé de deux ressorts, un amorti et autre non amorti. Il faudra donc connaître, pour pouvoir prévoir le travail livré à une certaine vitesse de détente, le rapport élasticité amortie élasticité non amortie, (ce qui nous donnera la perte de travail à vitesse infinie), et une constante de friction interne qui nous donnera la proportion de cette perte à une vitesse déterminée.

Dans les recherches entreprises dans le laboratoire de physiologie de

l'université de Louvain nous nous sommes efforcés d'obtenir sur les propriétés mécaniques du muscle des données quantitatives.

L'étude du diagramme tension-longueur, a été abordée en premier lieu (Colle 1928, 1929). Les variations du diagramme et de son module ont été déterminées pour l'excitation sous maximale ainsi que pour l'excitation du muscle soumis à un milieu ionique anormal (Colle 1929).

Les constantes d'hystérésis ont ensuite été déterminées et ce par deux techniques différentes : Courbes tension longueurs à différentes vitesses uniformes, et extension en fonction du temps après une brusque variation de tension. Ces deux méthodes donnent des résultats identiques (Bouckaert, Cappellen, De Blende 1930).Le muscle normal est ainsi déterminé mécaniquement.

Comparant ensuite le muscle à l'état de repos au muscle à l'état d'excitation, nous trouvons entre les deux de grandes différences pour les valeurs du rapport, ainsi que pour celles de la viscosité (Bouckaert, Petit, De Blende 1930).

Nous avons également, de cette façon, mis en évidence la différence énorme dans l'état physique, du muscle à l'état de contracture chloroformique et du muscle en contracture par l'acide lactique, par rapport à l'état physique de ce même muscle en contraction tétanique.

La viscosité est beaucoup plus grande dans les contractures que dans la contraction et le rapport entre l'élasticité amortie et non amortie d'abord assez semblable au rapport trouvé pour la contraction devient de plus en plus semblable à celui qu'on trouve pour le muscle au repos ; la viscosité va en croissant au fur et à mesure que la contracture se prolonge.

En plus de l'intérêt qu'il peut y avoir à déterminer de cette façon physiquement précise les propriétés mécaniques d'un muscle, ces recherches nous amènent à avoir certaines données sur la structure physique dans ces différentes conditions.

Ces propriétés d'hystérésis peuvent être envisagées comme étant dues à de véritables frictions internes dans un système composé d'une phase solide et d'une phase liquide ou peuvent être dues à des variations dans le dégagement de l'énergie, celle-ci ayant besoin d'un certain temps pour atteindre l'équilibre rompu par une variation de forme. Ce qui importe, en premier lieu, c'est de déterminer ce qui, dans cette hystérésis, dépend de la structure proprement dite et ce qui dépend de modalités du dégagement énergétique. Cette question fait l'objet de recherches en cours.

THÉORIES DE LA MENSTRUATION

par le docteur M. WATRIN

Agrégé à l'Université de Liége

Les hypothèses sur le déterminisme de la menstruation sont en rapport étroit avec les conceptions biologiques dominantes au cours de l'évolution de la physiopathologie génitale. Avant qu'on ne connût les rapports de la menstruation et de l'activité ovarienne, la menstruation était considérée comme un processus déplétif et dépuratif, consistant en l'expulsion périodique des humeurs peccantes de l'organisme féminin.

Pflüger fut le premier qui soupçonna les rapports de la menstruation avec l'ovulation. Les follicules, en mûrissant, pensait-il, irritent les filets nerveux ovariens, et cette irritation détermine, par voie réflexe, les phénomène congestifs utéro-ovariens caractéristiques de la menstruation.

Strasman et Cohnstein défendirent cette théorie nerveuse de la menstruation parce qu'ils parvinrent à déterminer le rut en distendant le parenchyme ovarien par injection de liquide.

Lacassagne observa qu'après irradiation intense des ovaires par les rayons X, il y avait destruction des follicules, des corps jaunes et des cellules interstitielles ; néanmoins, il survenait, chez ces animaux, un rut persistant. Comme, dans ces ovaires, Lacassagne ne trouvait que de grands kystes folliculaires, il en concluait que ces corps étrangers irritaient les filets nerveux et, par réflexe, entraînaient les phénomènes congestifs du rut. Mais, après avoir défendu la théorie nerveuse de la menstruation et du rut, Lacassagne s'est rangé, depuis lors, parmi les défenseurs de la théorie hormonique de la menstruation.

Après que Prenant eut démontré que le corps jaune, qui se forme aux dépens du follicule rompu, était une glande à sécrétion interne, une pléiade de biologistes de tous les pays étudièrent l'histogénèse et l'histophysiologie de cette glande interne. Pendant une trentaine d'années régna la théorie lutéinique de la menstruation. Ce fut Born, Fraenkel, et Villemin qui furent les premiers défenseurs de cette hypothèse. Pour eux, l'ovulation se faisait vers le vingtième jour du *postmenstruum*. Le corps jaune atteignait sa période d'état au bout d'une huitaine de jours. La sécrétion de cette glande déterminait la menstruation. La plupart des biologistes admettaient aussi que le rut et la menstruation étaient des phénomènes homologues et que tous deux étaient déterminés par le corps jaune. Bouin lui-même avait accepté cette hypothèse erronée.

Regaud en France et les biologistes américains démontrèrent, dans ces dix dernières années, que le rut n'est pas contemporain de la formation du corps jaune, mais a lieu au moment de la maturité folliculaire et de l'ovulation. On sait aujourd'hui que l'injection de *liquor folliculi* ou de son extrait lipo- ou hydro-soluble détermine, chez l'animal impubère, ou castré, ou ménopausé, tous les phénomènes vagino-utéro-ovariens du rut : bouchon corné vaginal, hyperémie et hyperplasie de la muqueuse utérine, hypersécrétion tubo-utérine, hypermotricité tubo-utérine.

La rupture folliculaire, qui est contemporaine de l'œstrus, est suivie de la formation du corps jaune (*postoestrus*). Pendant cette phase d'activité lutéinique, on constate deux faits essentiels : l'arrêt de la maturation folliculaire et la formation du déciduome utérin, de l'embryotrophe de nidation. Phase folliculaire et phase lutéinique se succèdent suivant un rythme périodique et constituent le cycle sexuel. Ce cycle varie d'un animal à l'autre. Il y a des espèces monœstriennes et polyœstriennes.

A l'heure actuelle, tous les biologistes cherchent à savoir si, chez la femme comme chez les animaux, il existe un cycle sexuel et si les phases de ce cycle se succèdent suivant un rythme régulier, et enfin à quelle phase de ce cycle appartient la menstruation.

Par nos recherches personnelles consistant en laparotomies de plusieurs centaines de femmes régulièrement menstruées, et en nous basant sur l'étude histologique et histochimique des corps jaunes énuclées, nous sommes arrivés à ces conclusions :

1° Que l'ovulation chez la femme se fait vers le douzième jour du *postmenstrum*, calculé depuis le premier jour de la mentruation ;

2° Que le corps jaune est en pleine dégénérescence graisseuse au moment de la menstruation ;

3° Que l'exérèse du corps jaune, loin d'empêcher la menstruation, détermine en général son apparition dans les quarante-huit heures.

Notre première conclusion infirme donc la théorie de Schickelé qui nie l'existence d'un cycle sexuel chez la femme et exclut le corps jaune du déterminisme direct ou indirect de la menstruation. Pour Schickelé, l'ovulation se fait à tous les moments de l'*intermenstrum*. D'après lui, on constate, au moment de la menstruation, tantôt un corps jaune évolué, tantôt un corps jaune en involution, tantôt l'absence de tout corps jaune. Seule, d'après Schickelé l'activité folliculaire détermine les transformations de la muqueuse utérine qui aboutissent à la menstruation.

Notre seconde conclusion infirme, d'autre part, la théorie de Fraenkel. Pour nous, ce n'est pas l'activité du corps jaune qui déclenche la menstruation. *Le corps jaune a pour fonction essentielle de bâtir et d'entretenir la vitalité de l'embryotrophe utérin et d'empêcher l'ovulation. La menstruation est contemporaine de la régression graisseuse du corps jaune et de la reprise de la maturation folliculaire.* L'involution graisseuse du corps jaune entraîne les processus régressifs du déciduome utérin. Il est

probable aussi que les phénomènes congestifs qui accompagnent la reprise de la maturation folliculaire favorisent l'effondrement hémorragique de l'embryotrophe.

Cette théorie de la menstruation a été vivement attaquée par Schickelé qui défend, nous venons de le voir, la théorie exclusivement folliculaire de la menstruation. D'autre part, Hofbauer et Carlini se sont fait les défenseurs d'une théorie ovocytaire et anaphylactique de la menstruation. Cette hypothèse anaphylactique a été reprise plus récemment par Petit-Dutaillis et par Dalché. Discutons ces trois théories :

A l'appui de notre théorie de la menstruation qui est acceptée et défendue par l'Ecole de Bouin et par beaucoup de biologistes et de gynécologues, nous nous permettons d'apporter ces quatre arguments :

1° Il serait étrange que les phases folliculaires et lutéiniques qui se succèdent chez tous les animaux suivant un rythme régulier, soient, chez la femme, cahotiques, indépendantes et sans déterminisme utérin ;

2° Tous les gynécologues qui ont eu le privilège de faire quelques milliers de laparotomies, admettent qu'en général, l'ovulation se fait au voisinage de l'*intermenstrum* et qu'un corps jaune existe dans 90 % des laparotomies faites après la période intercalaire ;

3° Chez les primates, où le rythme mensuel est de vingt-sept jours, Corner a démontré que la muqueuse utérine a le type prémenstruel au moment des règles, et que la menstruation chez les primates est contemporaine de l'involution du corps jaune et de la reprise de la maturation folliculaire.

Quand une hémorragie a lieu chez la primate en l'absence de corps jaune dans l'ovaire, la muqueuse utérine n'a jamais l'aspect histologique prémenstruel,

4° Chez la chienne, au moment du rut (rupture folliculaire) il y a souvent une petite hémorragie que d'aucuns ont comparée, à tort, à la menstruation. La menstruation chez la chienne est contemporaine de la régression du corps jaune et consiste dans l'expulsion d'un embryotrophe crémeux (menstruation blanche).

Ces derniers faits ont été établis par Gerlinger, élève de Bouin.

En conclusion, puisque la rupture folliculaire chez la femme se fait dans la période intercalaire du cycle et qu'au moment de la menstruation on trouve dans l'ovaire un corps jaune plus ou moins involué, la menstruation n'est pas l'homologue de l'œstrus de l'animal. *Elle s'intercale entre la fin du postœstrus et le début du preœstrus.*

Que penser de la théorie anaphylactique, colloïdoclasique de la menstruation? D'après cette théorie, émise par Hofbauer et Carlini, l'hémorragie utérine n'est qu'un phénomène local résultant de l'ébranlement physico-chimique de l'organisme par un antigène déchaînant « l'ovule mort ». La sensibilisation préparatrice à ce choc serait le résultat de la résorption continuelle d'ovocytes ou du *liquor folliculi* au moment de l'ovulation.

S'il est vrai que certains molimen cataméniaux présentent des similitudes avec certains schoks anaphylactiques (asthme, migraines, herpes, douleurs rhumatoïdes), ces molimen nous paraissent exceptionnels et propres à des femmes en déséquilibre vago-sympathique.

Pendant toute l'enfance, il se fait une résorption continuelle d'ovocytes et il ne se produit pourtant pas de choc menstruel. De plus, la quantité de protéine ovulaire est bien petite, dans un ovule désintégré, pour provoquer un choc hémoclasique. Il n'est d'ailleurs pas démontré que cette protéine soit hétérogène. L'expérience démontre, comme le fait remarquer Trifaud, que le sang épanché dans une hématocèle, par exemple, n'est pas anaphylactique. Il n'est pas démontré non plus que l'ovule pondu est résorbé et n'est pas expulsé.

Quant aux expériences de Bouché-Hustin, qui provoquent la menstruation par application intra-utérine de sérum chez des femmes sensibilisées antérieurement par des injections de sérum de cheval, il s'agit là d'une banale réaction sérique dont la portée nous paraît bien faible pour expliquer les processus histologiques complexes de la menstruation.

Si essentiel que nous paraisse le rôle de l'épithélium folliculaire et du corps jaune dans le déterminisme des caractères sexuels secondaires et de la menstruation, il nous paraît toutefois imprudent d'exclure à priori l'ovocyte et l'ovule du déterminisme sexuel.

Le rôle de l'ovule en biologie sexuelle est défendu avec enthousiasme par Petit-Dutaillis, au point que ceux qui se sont efforcés d'élucider l'hitophysiologie du corps jaune lui paraissent des lunatiques. Pour lui, l'ovule constitue le moteur essentiel de la sexualité. Il règle aussi bien les processus de la puberté que les modifications locales et générales de la menstruation. La haute autorité de Petit-Dutaillis ne nous permet pas de rayer d'un trait de plume, si lunatique qu'on soit, la théorie ovocytaire de la sexualité. Qu'il nous permette toutefois de faire remarquer que l'expérimentation a définitivement établi que la formation du déciduome utérin est indépendante de l'action mécanique de l'ovule. La pseudo-gestation obtenue par ligature des trompes et par action des greffes, la formation d'une caduque utérine dans la grossesse tubaire démontrent cette indépendance.

Néanmoins, la théorie ovocytaire de la sexualité, qui s'inspire du rôle endocrine probable de la lignée spermatique, mérite de retenir l'attention des biologistes. Le rôle endocrine de l'ovule échappe pour le moment à nos moyens de recherches. Si même l'ovule n'a aucune action sécrétoire, son action par résorption n'est pas impossible. « Si nous songeons, écrit Pettinari, que l'ovule représente en puissance tout l'individu, et que dans la fécondation le spermatozoïde semble posséder seulement une action énergétique qui n'est pas toujours nécessaire (parthénogénèse), nous sommes porté à voir en lui la cellule la plus différenciée de l'organisme. Son protoplasme hautement évolué, dans lequel semblent confluer les propriétés fondamentales de tous les organes, se dissoudra-t-il sans exercer aucune influence?

Le processus d'atrésie signifiera-t-il, pour l'ovule, une mort stérile, et la résorption de ses débris aura-t-elle le même destin biologique que celui d'une cellule conjonctive banale. »

Bouin s'oppose à cette conception en écrivant que « l'œuf, comme l'élément sexuel mâle, est une cellule qui reste embryonnaire à l'état indifférencié, qui doit conserver toutes les potentialités germinatives et qui ne peut posséder l'une ou l'autre de ces propriétés fonctionnelles particulières qui sont l'apanage des éléments différenciés par l'ontogénèse ».

L'opposition de ces deux conceptions aura une répercussion considérable sur l'orientation des recherches biologiques de l'avenir. Le débat reste donc ouvert.

10e Section : Anthropologie

Président : M. E. Van den Broeck.
Vice-Président : M. le Dr Fraipont.
Secrétaire : M. le Dr Dekeyser.
Membres : M. le Baron de Loë, M. le Dr Vervaeck, M. Em. de Mungk.

Dimanche 29 juin à 15 heures.

Président : M. Van den Broeck.

Allocution du Président.

Messieurs et chers Collègues,

Il m'eût été agréable de devoir à un certain mérite personnel l'honneur qui m'est échu de présider, en ce savant Congrès national, la section d'Anthropologie. Mais, comme il s'agit ici d'une simple prérogative, attribuée réglementairement aux Présidents de nos Sociétés scientifiques, j'aurai hâte au cours des séances qui vont suivre, de partager avec des confrères plus autorisés les honneurs et les devoirs présidentiels.

Ayant d'ailleurs à contribuer personnellement aux travaux de la Section de Géologie, je serai forcé de m'absenter de certaines de nos réunions. Je me borne donc à déclarer *ouverte* la séance d'inauguration de nos travaux en section. Et tout d'abord, au nom du Bureau et de vous tous, Messieurs, je salue avec joie et reconnaissance, ceux de nos confrères de province qui, parfois de loin, ont bien voulu se joindre à nous et nous apporter des contributions scientifiques et des travaux auxquels nous serons heureux de faire bon accueil.

Je remercie tout spécialement nos distingués collaborateurs inscrits, dont les communications vont rendre nos séances captivantes et pleines d'intérêt.

Nous avons pu établir ici une sous-section de *Folklore* au sein de laquelle seront étudiés les questions et problèmes ressortissant à ce domaine spécial, étroitement apparenté au nôtre.

Permettez-moi maintenant, Messieurs, de vous rappeler que la Société d'Anthropologie de Bruxelles qui, en réalité s'est toujours occupée du vaste programme de l'anthropologie de notre pays tout entier vient d'être récemment l'objet d'une promotion flatteuse. Ayant obtenu, en récompense de ses constants efforts, le Patronage Royal, nous avons été amenés à modifier et à compléter la dénomination sous laquelle la Société a poursuivi sa carrière scientifique. Il m'a paru que l'occasion était propice pour rendre hommage aux nombreux travailleurs qui, sans interruption,

depuis son origine en 1882, ont élargi très spécialement son programme de recherches et d'études, dans le domaine de la *Préhistoire*. Pour bien justifier ma proposition, consistant à attribuer, au nouveau cycle vital de la Société, la dénomination de *Société Royale Belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, j'ai cru pouvoir rédiger un « Exposé Rétrospectif » justifiant la formule proposée. Celle-ci a été, au début de la présente année, adoptée à l'unanimité et c'est sous la dénomination précitée que se présente devant le Congrès, l'ancienne Société d'Anthropologie de Bruxelles.

Mon exposé rétrospectif a peut-être eu l'avantage d'être entré dans la voie des examens récapitulatifs demandés aux diverses sections scientifiques du Congrès national. Il constitue également une sorte d'esquisse préliminaire du tableau d'ensemble, complet et détaillé, que nos confrères MM. Dekeyser et Baron de Loë vont nous exposer tout à l'heure, sous le titre « Ethnographie et Préhistoire de la Belgique ».

Baron de Loë et le Dr Dekeyser : *Ethnologie et préhistoire de la Belgique.*

M. E. Rahir : *Les Travaux du Service des Fouilles de l'Etat.*

M. E. de Munck : *Notes relatives à un ensemble d'ateliers et de stations néolithiques belges.*

Mardi 1er juillet à 9 heures.

Président : M. le Baron de Loë.

Communications :

M. Hasse : *Saïga tartarica dans le pléistocène belge.*

M. E. Rahir : *Le refuge protohistorique et romain de Buzenol.*

M. L. Stroobant : *La nécropole à incinération de Riethoven.*

M. Dursin : *Les relations commerciales entre Spiennes et le Nord de la Belgique.*

Baron Lecca : *Sur la relation entre les races fossiles et les races actuelles de l'Europe.*

Prof. Ch. Fraipont : *Crânes néolithiques de Spiennes du type Cro-Magnon.*

Baron de Loë : *Spiennes et la question ethnologique.*

Mardi 1er juillet à 14 h. 30

Visite de la Section de la Belgique ancienne aux Musées Royaux d'Art et d'Histoire sous la conduite du baron de Loë et de Mlle Leclercq.

ETHNOLOGIE ET PRÉHISTOIRE DE LA BELGIQUE

par le Dr Léon DEKEYSER et le baron DE LOË,

Professeurs à l'Ecole d'Anthropologie de Bruxelles.

(RÉSUMÉ DE LA COMMUNICATION) .

Durant le paléolithique inférieur, c'est dans la région de Mons, autour des riches gisements de silex, que se sont cantonnées les tribus primitives. Mais au paléolithique supérieur (période glaciaire), l'homme rechercha surtout les abris naturels des bords de la Meuse et de ses affluents.

Le *Chelléen* classique n'est pas représenté chez nous, et c'est par une industrie en silex très primitive, découverte à Mesvin, que débute notre paléolithique. Le capitaine Delvaux en fit l'industrie *mesvinienne.*

Quant à l'industrie *acheuléenne* et *moustérienne*, elle est très bien représentée aux environs de Mons.

Jusqu'ici, on n'a trouvé aucun vestige de l'homme tertiaire dans notre pays et les gisements mesviniens et acheuléens n'ont livré aucun ossement humain.

*
* *

Nos cavernes furent explorées dès 1829 par Schmerling, le véritable fondateur de la paléontologie humaine et les explorations furent continuées par Spring, Edouard Dupont, Alfred Rucquoy, Marcel De Puydt, Max Lohest, Tihon, Julien Fraipont, de Loë, Rahir, van den Broeck, Charles Fraipont, Hamal-Nandrin et Jean Servais, et ces explorations donnèrent des résultats remarquables et d'une importance capitale, apportant des documents certains sur l'ancienneté de l'homme et sa contemporanéité avec la faune quaternaire.

Le *Moustérien*, l'*Aurignacien* et le *Magdalénien*, sont fort bien représentés dans les grottes belges, alors que le *Solutréen* n'y a laissé que peu de traces.

Dans certaines grottes de la vallée de la Mehaigne, on a constaté aussi la présence de l'industrie *acheuléenne* et *acheuléo-moustérienne.* L'*Azilien* est remplacé dans les couches supérieures de nos grottes, par une industrie à peu près synchronique : le *Tardenoisien primitif.*

*
* *

La plus ancienne espèce humaine connue en Belgique est l'*Homo Neanderthalensis* auquel se rapporte la *mâchoire de la Naulette*, découverte par Dupont en 1866, à Walzin, associée à des restes de mammouth, en terrain non remanié. Cette mâchoire est du même âge (pléistocène moyen) et est presque aussi célèbre que la fameuse calotte cranienne de Neanderthal, découverte en 1856, et dont les caractères simiens — aplatissement, front fuyant, arcades sourcilières énormes, extrêmement saillantes, rapprochées au point de se confondre sur la ligne médiane — révolutionnèrent le monde paléontologique.

La découverte la plus importante concernant l'*Homo Neanderthalensis* fut incontestablement celle des deux squelettes trouvés en 1886 par MM. De Puydt et Lhoest, dans la terrasse de la grotte de la *Betche-aux-Roches*, à Spy, dans le moustérien, sous deux couches aurignaciennes parfaitement en place. Ils furent l'objet d'une étude tout à fait remarquable du professeur J. Fraipont.

Jusqu'alors, les caractères particuliers du crâne de Neanderthal étaient encore âprement discutés. Mais les squelettes de Spy vinrent démontrer d'une façon irréfutable que les particularités de cette calotte cranienne qui se retrouvaient dans les crânes de Spy constituaient des caractères ethniques bien déterminés, appartenant à une race spéciale, caractères qui furent depuis observés dans d'autres débris humains. (Gibraltar, Krapina, La Chapelle-aux-Saints, Le Moustier, La Ferrassie, La Quina). L'étude de Julien Fraipont fixa de façon précise l'âge des squelettes, déterminé aussi par la stratigraphie, et par la faune et l'industrie qui les accompagnaient.

Les squelettes de Spy constituent donc un document extrêmement important au point de vue anthropologique et au point de vue de l'histoire de l'homme.

Les constatations anatomiques permettent de se rendre compte de la stature et de l'allure des hommes de Spy et sans doute aussi des hommes du quaternaire inférieur. Ces hommes étaient petits et trapus, très robustes, pourvus d'une musculature puissante. Ils étaient plus ou moins dolychocéphales, la tête était volumineuse, la mâchoire prognathe. Les bras et les jambes étaient relativement courts. Dans la station verticale, ces hommes marchaient les cuisses inclinées sur les jambes, comme le font les anthropoïdes, leur allure était interno-plantigrade et leur démarche intermédiaire entre celle des singes supérieurs et celle de l'homme actuel, mais en se rapprochant davantage des premiers.

Cette race dite de Neanderthal occupait la plus grande partie de l'Europe centrale. Elle coexistait avec le mammouth. C'est la race dont les caractères sont les plus inférieurs et certains sont nettement simiens. C'étaient cependant des marcheurs.

Le climat étant devenu tempéré au Néolithique et la densité de la famille humaine s'étant fortement accrue, le pays était presque entièrement habité.

Les Néolithiques avaient chez nous quatre modes de sépulture :

Enfouissement pur et simple des cadavres, dans un trou naturel ou une fissure du calcaire.

Inhumation d'un ou de plusieurs cadavres couchés ou accroupis, à l'entrée des grottes.

Sépulture à deux degrés, consistant en une exposition ou en une inhumation temporaire des cadavres, puis dépôt dans les cavernes ossuaires, des parties principales du squelette, les crânes ordinairement placés ensemble.

Inhumation des cadavres ou dépôt d'ossements dans la terrasse d'une caverne ou le long des parois d'un rocher à ciel ouvert.

Ces particularités ont permis de recueillir de très nombreux ossements néolithiques qui firent l'objet de très belles études de Julien Fraipont et de Emile Houzé, études d'où il résulte que nos Néolithiques constituaient un mélange plus ou moins complexe d'un type brachycéphale nouveau, envahisseur, métissé avec les descendants des types dolychocéphales de Cro-Magnon, de Laugerie-Basse, etc., métissés eux-mêmes avec d'autres types dolychocéphales néolithiques.

Bien qu'on n'ait découvert nulle part en Belgique le type *pur* de Cro-Magnon, son influence est tellement évidente dans les métissages que l'on peut admettre que le type dolychocéphale était mélangé déjà, lorsque sont arrivés les envahisseurs brachycéphales.

A la fin de l'époque quaternaire, les métissages s'accentuent. On voit apparaître des crânes sous-brachycéphales (Furfooz) et plus tard, les types brachycéphales, mais ces derniers sont très difficiles à retrouver purs. Dans certaines régions, peu nombreuses, ils furent noyés dans les dolychocéphales qui leur imprimèrent une partie de leurs caractères. Bientôt de nouveaux croisements atténuèrent ceux-ci et les caractères de brachycéphalie s'accentuèrent de plus en plus. Dans notre pays, on peut ainsi trouver toutes les transitions entre le type Neanderthal, Cro-Magnon et le type brachycéphale.

*
* *

Le *Tardenoisien* est à la fois du paléolithique finissant et du néolithique commençant. On y rencontre des formes primitives associées à une faune encore froide, et qui évoluent jusqu'aux formes épanouies des stations de la Campine.

Les Néolithiques groupaient leurs huttes en villages terrestres — surtout en Hesbaye — et lacustres — surtout dans la moyenne et basse Belgique.

La remarquable station de Spiennes, avec ses puits, ses galeries d'extraction de silex, ses ateliers de taille, ses fonds de cabanes et ses sépultures appartient au *Robenhausien*.

*
* *

La pratique de l'incinération des morts fait que nous ne connaissons presque rien de l'ethnologie des anciens Belges depuis la fin de l'époque néolithique jusqu'aux premières invasions barbares.

Mais grâce aux travaux d'Emile Houzé, nous connaissons fort bien le type franc, tant au point de vue ostéologique qu'au point de vue ethnique.

La disposition des cimetières francs démontre l'existence d'un grand courant d'invasion vers le sud de la Belgique. Les envahisseurs étaient venus des bords du Rhin et de la Moselle, en suivant les grandes voies romaines vers Bavay et le Nord de la France. Un grand nombre se fixèrent dans notre pays, se mélangèrent peu à peu aux populations, se métissèrent et finalement, furent fondus dans l'ancienne population belgo-romaine.

L'étude comparée des diverses séries de Francs, démontre que la dolychocéphalie s'atténue à mesure que l'on s'éloigne du foyer germanique et que les croisements avec les populations autochtones se firent plus nombreux.

Les Francs de notre pays sont cependant restés plus purs que ceux qui sont parvenus jusqu'au centre de la France où ils furent noyés par les brachycéphales.

Le Franc était grand, blond, dolychocéphale et présentait un caractère tout à fait particulier et constant, que l'on rencontre encore chez les Flamands : l'énorme saillie de l'occipital. C'est ce type que Houzé désigna sous le nom de *type de Hallstatt*.

A partir de 1878 l'ethnologie s'appuie sur l'observation directe des populations actuelles, pour conclure à leurs affinités et à leur dispersion primitives.

Quand on étudie nos populations actuelles, on est frappé par l'existence de deux types nettement différents, que les croisements nombreux ne sont pas parvenus à fondre dans un type unique.

Type flamand, type wallon, qui diffèrent par les caractères somatiques, la langue, la mentalité, les habitudes, les coutumes d'habitat. Dans l'ensemble, le premier est dolychocéphale, le second sous-brachycéphale. Cependant, on observe partout des mélanges en nombre non négligeable de brachycéphales parmi les Flamands, et un certain nombre de dolychocéphales blonds dans la partie wallonne du pays. La frontière linguistique assez nettement tranchée, ne constitue nullement une frontière racique.

Il est évident que les caractères somatiques observés chez les races qui peuplent la Belgique, constituent dans une certaine mesure, la persistance des caractères ethniques de nos populations primitives. Celles-ci ont laissé leur empreinte surtout chez les Wallons, les Francs surtout chez les Flamands.

Il va sans dire qu'il n'est pas possible de déterminer, dans une population constamment modifiée par des apports nouveaux, par des invasions répétées, par des croisements multiples, la part qui revient dans les types tant flamands que wallons, aux divers éléments qui sont intervenus dans la formation du type actuel, quelle est la part d'influence de l'homme fossile, quelle est celle de l'envahisseur protohistorique, mais certains caractères frappent par leur constance relative et autorisent les observations qui précèdent.

Si les différences somatiques apparaissent entre Flamands et Wallons,

nous constatons également une opposition de caractères assez tranchée. Le Flamand est réfléchi, énergique, tenace. Constant dans ses affections, il ne l'est pas moins dans ses colères, qui sont durables. Il est profondément mystique, religieux. Au contraire, le Wallon est sceptique et partant, peu religieux, il est primesautier, enjoué et frondeur et essentiellement indiscipliné.

*
* *

Si l'on regarde les choses d'un peu haut, disait Topinard (1889) en étudiant les questions ethniques, il n'y a peut-être que trois grandes races en Europe : l'une qui prédomine au nord, grande, blonde, et dolychocéphale (*Homo nordicus*) type de Hallstatt, de Houzé; l'autre qui prédomine au sud, sur le pourtour de la Méditerranée et dans les îles et presqu'îles, brune, petite et dolychocéphale encore (*Homo mediterraneus*), la troisième, intermédiaire et brachycéphale, s'étendant du massif central de la France, sinon de la Celtibérie, à travers l'Allemagne du Sud, les Alpes, la Bohême et les Carpathes jusqu'en Russie (*Homo alpinus*).

Les nationalités ou peuples de l'Europe, ne sont que des mélanges de ces trois races produites par les fluctuations de l'histoire.

*
* *

Notre population actuelle est composée du croisement de l'*Homo alpinus* (Néolithiques) avec l'*Homo nordicus* (Gaulois et Francs).

Le premier a une influence prépondérante en Wallonie, le second prédomine en Flandre.

Tel est, en résumé, l'état présent de nos connaissances au sujet de l'ethnologie et de la préhistoire de la Belgique.

LES TRAVAUX DU SERVICE DES FOUILLES DE L'ÉTAT

par E. RAHIR

Conservateur honoraire des Musées Royaux d'Art et d'Histoire,

Directeur honoraire du Service des Fouilles de l'Etat.

Par cet exposé très sommaire des travaux de recherches entrepris depuis vingt-cinq ans par le Service des Fouilles de l'Etat, nous nous proposons de mettre en lumière l'activité de ce service au profit de nos collections nationales et de notre documentation archéologique.

La création de ce service, autorisé par dépêche ministérielle, remonte au 24 décembre 1903. Nous ne ferons pas ici l'historique de ce service comme nous n'exposerons pas le détail de ses travaux, ce qui a été fait ailleurs [1]. Nous ne signalerons que ses principales recherches et les résultats d'ensemble se rapportant à chacune des périodes de la préhistoire, de la protohistoire et des époques romaines et franques.

Rappelons cependant que M. le baron de Loë en fut le créateur puis le directeur pendant nombre d'années et que nous fûmes d'abord son adjoint chargé tout spécialement de l'étude archéologique sur le terrain des fouilles depuis la fondation de ce service, puis en ces dernières années son successeur dans la direction.

Ces travaux furent grandement facilités par l'aide intelligente d'un excellent chef-fouilleur, Camille Collard, et d'un préparateur de premier ordre, Eugène Bauwin, collaborateur à l'œuvre commune depuis vingt-cinq ans.

Paléolithique. — Des temps paléolithiques, nous recueillîmes des documents se rapportant à l'époque magdalénienne, découverts dans un foyer du Trou du Renard, du rocher de Furfooz (Vallée de la Lesse).

Deux niveaux d'habitats humains y furent reconnus : le principal, supérieur, ayant fourni une industrie caractéristique de l'âge du renne ; l'autre, inférieur, se rapportant à l'époque Aurignacienne.

Dans ces mêmes rochers de Furfooz et dans celui de Chaleux, nous mîmes au jour de nombreux documents appartenant aux temps Magdaléniens.

Grotte de Remouchamps. — La salle d'entrée de cette grotte, qui fut entièrement fouillée, amena la très importante découverte de deux foyers

[1] E. Rahir, *Vingt-cinq années de recherches.*

d'habitats humains, remontant au début de l'époque tardenoisienne, avec industrie microlithique grossière, accompagnée d'une faune intermédiaire entre la période glaciaire et les temps néolithiques. Ces foyers étaient purs de tout mélange antérieur ou postérieur au tardenoisien primitif.

Sur les plateaux environnant la grotte l'on décrouvrit d'importantes stations tardenoisiennes à industrie pure, plus parfaite et plus évoluée que dans la grotte (Epoque postérieure à l'habitat de la grotte).

Nous passons les découvertes paléolithiques qui furent faites dans le sud de la Belgique, à Petigny, Nimes, Couvin, etc... pour mentionner plus particulièrement les importantes recherches faites dans la célèbre grotte de Spy, bien connue par la découverte d'ossements humains appartenant à la race de Neanderthal.

Grotte de Spy. — L'on y a reconnu quatre niveaux d'occupation humaine d'âge différent, se rapportant au Moustérien ancien, au Moustérien récent, à l'Aurignacien classique caractérisé par le travail de l'os (perles, etc...) et enfin l'Aurignacien final, le plus récent des niveaux.

Les grottes de Goyet, dans la vallée du Samson, nous ont fourni d'intéressants éléments archéologiques, datant de l'âge du renne, antérieurs à cette époque et des temps néolithiques.

Grottes de Marche-les-Dames (Meuse). — Ces grottes ouvertes dans une magnifique falaise rocheuse nous ont fourni de nombreux vestiges se rapportant à toutes les époques et, parmi ceux-ci, l'époque aurignacienne était bien représentée dans la grotte de la « Princesse ».

Grotte de Heyd. — Dans la vallée de l'Aisne (affluent de l'Ourthe), nous avons fouillé la grotte de Heyd qui nous a donné une industrie humaine tardenoisienne, comparable à celle de la grotte de Remouchamps.

Néolithique

Dans les vallées de l'Amblève et de l'Ourthe et dans les sables de la Campine, nous avons découvert de nombreuses et remarquables stations tardenoisiennes, à industrie microlithique évoluée dont l'ensemble forme les plus importantes collections de cette époque. Cette remarquable industrie garnit une série de vitrines des Musées du Cinquantenaire.

Furfooz. — Parmi les plus importantes découvertes faites dans les rochers de Furfooz, signalons la sépulture à inhumation (néolithique) du « Trou de la Mâchoire ». L'on y reconnut cinq squelettes humains avec mobilier funéraire (silex, poinçons) et dont l'un occupait la position naturelle allongée, tandis que les quatre autres étaient repoussés vers le fond de la Grotte. Le docteur Houzé y a reconnu la race néolithique avec mélange de caractères propres aux Cro-Magnons.

Le « Trou du Crâne » découvert dans les mêmes rochers était formé de deux petites cavités se faisant suite et dont la première, s'ouvrant à

l'extérieur, était éclairée par deux ouvertures. L'une de ces ouvertures était encore clôturée par des grosses pierres, placées intentionnellement ainsi par le néolithique. Ces cavités renfermaient des ossements humains et (dans la terrasse s'étendant devant les cavités) l'on a reconnu un paquet d'ossements humains accompagné d'une hache polie.

Vaucelles. — La plus intéressante sépulture néolithique étudiée par le Service des Fouilles, fut celle de Vaucelles près de la frontière française. A 50 centimètres de profondeur dans une terrasse qui s'étendait le long d'une paroi rocheuse surplombante, l'on découvrit plusieurs sépultures néolithiques, dont une, dans une anfractuosité de la roche, contenait un squelette d'adulte en position allongée et dont les tibias étaient repliés sur les fémurs. A côté se trouvaient les os d'un enfant et une hache polie comme mobilier funéraire.

Dans d'autres sépultures voisines, l'on recueillit un intéressant mobilier funéraire composé d'un vase néolithique, d'une hache en silex, d'une hache en bois de cerf, d'une hachette polie encore engagée dans sa gaine intacte en bois de cerf et percée d'un trou pour l'emmanchement, pièce rare en Belgique. En plus l'on a trouvé aussi des poinçons en os et des pointes de flèches.

Marchets ou sépultures sous un monticule circulaire de pierres.

A Boussu en Fagnes, dans deux marchets l'on a découvert des sépultures néolithiques à inhumation et, pour la première fois en Belgique, des sépultures à incinération. A Frasnes également, nous avons trouvé des sépultures néolithiques à inhumation et à incinération sous marchets. A Fagnolle, 11 marchets ont fourni des sépultures à inhumation et à incinération avec mobiliers funéraires composés de vases, pointes de flèches et lames en silex taillé. D'autres sépultures sous marchets ou sous abris rocheux ont été reconnus à Hotton, Lustin, Waulsort, Goyet, Moresnet, Roly et Hennuyères, etc.

A *Boitsfort*, l'on découvrit une très importante nécropole néolithique à incinération. Sous des levées de terre parallèles l'on reconnut des lits superposés d'ossements humains incinérés, accompagnés de mobiliers funéraires composés de vases aux formes remarquables, de haches polies, de grattoirs et de lames en silex taillés.

A *Ottenbourg*, l'on découvrit aussi un cimetière néolithique à incinération sous des levées de terre. Ces sépultures qui étaient disposées en plusieurs lits superposés, étaient associées à des poteries et à des silex taillés.

A *Vaux et Borset*, l'on a fouillé 69 fonds de cabanes néolithiques (Omaliens). Ces habitats sont caractérisés, par un grand nombre de poteries ornementées de dessins géométriques des plus variés, par la profusion des lames et des nucléus, par l'absence de hache polie ou ébauchée en silex, par

l'absence de pointes de flèches à pédoncules, à barbelures ou en forme de feuille, par la présence d'ocre rouge. Nombreuses lames, scies en silex, ciseaux polis en roche basaltique et divers instruments polis en roche.

A *Spiennes*, l'on vida deux puits néolithiques d'extraction du silex, qui s'enfonçaient de 14 à 16 mètres de profondeur d'où partaient en rayonnant des galeries souterraines qui furent également vidées.

Dans ces galeries, dont les parois portent l'empreinte des coups de pics des mineurs, l'on récolta notamment plus de 1.500 pics en silex, presque tous émoussés ou brisés par le travail de ces hommes d'il y a 4.000 ans.

A la surface du sol avoisinant les puits d'extraction qui étaient très nombreux l'on reconnut l'emplacement de huttes en torchis qui occupaient des dépressions et étaient très souvent établies au-dessus de puits d'extraction obstrués et parfois aussi au-dessus d'ateliers de taille du silex. Ces habitats ouvriers ont fourni des poteries rarement ornementées et parfois très grandes, des poinçons en os, des peignes, des lissoirs, des marteaux en bois de cerf, des instruments divers en silex. Quelques sépultures, dont trois crânes humains, ont été trouvés enfouis sous les habitats. Parmi ces crânes, l'un a une dolichocéphalie très prononcée.

Epoque du bronze

Furfooz. — Sur un plateau l'on découvrit un gisement naturel de Calcite [1] exploité à l'âge du bronze et qui contenait des poteries ornementées, caractéristiques de cette époque. L'on y a découvert des pics en bois de cerf et des marteaux. C'est la seule exploitation de ce genre qui ait été trouvée en Belgique.

A *Luiksgestel* (Brabant septentrional) l'on reconnut un important cimetière de l'âge du bronze, représenté par 47 vases dont plusieurs portent la décoration caractéristique de l'époque.

A *Grobbendonck*, nombre d'urnes cinéraires furent extraites d'un vaste cimetière de l'âge du bronze.

A *Tamise*, l'on fouilla un gisement qui fournit des vases caractéristiques de l'âge du bronze et qui contenaient des ossements humains incinérés.

A *Harchies*, l'on découvrit plusieurs tombes de l'âge du bronze et dans une des urnes à incinération, l'on trouva, en plus des ossements incinérés, une épée en bronze, à peu près complète mais brisée intentionnellement en plusieurs morceaux, pour obéir à un rite funéraire.

[1] Matière incluse dans presque toutes les poteries néolithiques et dans beaucoup de l'âge du bronze.

Age du fer

Malines (Neckerspoel). — Dans une station palustre l'on découvrit, parmi d'importants vestiges d'habitations sur pilotis, des poteries à pâte grossière, un mors de bride, une gaine de hache, un hameçon etc... et principalement une pirogue de 8 m. 50 de longueur et de 1 m. de largeur qui était creusée dans un tronc de chêne d'une seule pièce. Cette pièce est unique en son genre en Belgique.

Leval-Trahegnies. — Dans un cimetière l'on recueillit de nombreux vases et deux bracelets en lignite (pièces rares).

Contich. — Cette localité fournit le cuvelage de deux puits constitués par de gros troncs de chêne évidés et voisins l'un de l'autre.

Bérismenil (Ourthe). — Le pourtour d'un promontoire escarpé, contourné par une boucle de l'Ourthe était défendu par des tranchées et des levées de terre, qui jadis devaient être palissadées. Partout un lit de charbon de bois reposait sur un lit de pierres.

Biez. — Un cimetière occupait l'emplacement d'une station paléolithique et néolithique. L'on y recueillit plus de quarante vases qui purent être complètement restaurés.

Saint-Vincent. — L'on y fouilla 88 tombes sous tumulus, dont le plus grand mesurait 1 m. 90 de hauteur et 16 mètres de diamètre. L'on y trouva 70 vases de formes et de grandeurs variées qui tous étaient privés de décorations. Il y avait des plats, des vases, des soucoupes, etc... et, parmi les objets, un rasoir en fer.

Brecht. — L'on y découvrit un cimetière de l'époque franque avec les armes et objets de cette époque, mais dont les hommes avaient conservé le rite de l'incinération.

Austruweel (Anvers). — A 5 m. de profondeur, l'on recueillit deux pirogues creusées dans des troncs de chêne d'une seule pièce. L'une, formée d'un demi-tronc de chêne évidé, mesurait 11 m. de longueur sur 1 m. 70 de largeur à l'avant et 1 m. à l'arrière. Cette barque, comme l'autre, avait l'avant et l'arrière clôturé par d'épaisses planches fixées perpendiculairement à l'axe de la pirogue. Des couples y étaient fixés par des broches de bois. L'une était recouverte d'une charpente-abri en bois.

Noville-Tavier. — Dix-sept tombes avec urnes et objets caractéristiques de l'époque.

Buzenol. — Fouille d'un refuge défendu par des levées de terre, long de 200 m. et large de 110 m. Remparts formés de pièces de bois entrecroisées avec pierres calcaires, le tout calciné constituant un ensemble solide. Les Romains y apportèrent de nouveaux travaux défensifs et l'on y trouva de nombreuses pierres sculptées provenant de monuments funéraires romains.

Salm-Château. — Etude d'un refuge établi sur un plateau élevé, défendu naturellement ou par des fossés et levées de terre artificiels.

Walk. — Fouille d'un refuge contourné par une boucle de la Warche et défendu artificiellement d'un côté par trois séries de tranchées et de levées de terre.

La Panne. — Dans les dunes de La Panne, près de la frontière française. l'on fouilla pendant trois ans une importante fabrique de poteries, avec les dispositifs pour le séchage et la cuisson des produits céramiques. Ensemble trouvé pour la première fois en Belgique. L'on y découvrit des sépultures à incinération et un grand nombre d'habitats. L'on y constata la romanisation graduelle de ces hommes jusqu'à leur absorption complète par la nouvelle civilisation

C'est jusqu'à ce jour le plus important ensemble de l'âge du fer qui ait été trouvé en Belgique.

Périodes romaines et franques

Furfooz. — Refuge défensif avec murailles et tours de défense, établi sur le plateau recouvrant les célèbres cavernes préhistoriques de Furfooz.

De nombreux objets divers y furent recueillis par le Service des fouilles.

Zeebrugge. — Découverte d'un îlot artificiel sur marécage, formé d'un immense cadre rectangulaire de poutres en bois non équarries, reliées par des traverses, le tout maintenu au sol par de nombreux pieux.

Thielrode. — Découverte d'un puits de 16 mètres de profondeur formé d'un cuvelage en bois.

Soignies. — Etude d'un puits circulaire en moellons de 0 m. 95 de diamètre. Il contenait de nombreux objets romains.

Fayt-lez-Seneffe, Leval-Trahegnies. — Fouilles de cimetières avec nombreux vases variés en terre et en verre, objets en bronze, etc...

Hotton. — Fouille du refuge dit le Ti-Château sur un promontoire au bord de l'Ourthe et défendu artificiellement d'un côté par des levées de terre. Position occupée à l'époque néolithique et à l'époque romaine.

Dinant. — Etude de voies antiques romaines sur plans inclinés gravissant le flanc des rochers du Vallon de Neffe. Encoches supportant les pièces de bois du plan incliné. Même découverte à Lustin.

Muysen (Malines). — Découverte d'un trésor carolingien. Dans un coffret, l'on trouva des objets en argent, de remarquables fibules ansées et de nombreuses monnaies en argent.

Houdrigny. — Etude de tombes franques en terre libre avec nombreux objets caractéristiques : armes, boucles de ceinturon, bagues, colliers, etc...

Robelmont. — Fouilles de substructions d'une villa belgo-romaine. Découverte d'objets divers : poteries, objets en fer et en bronze, monnaies, etc...

Hauteur des Fagnes de la Baraque Michel. — Etude des voies romaines.

Vellereille-le-Brayeux. — Fouille d'une villa romaine et d'une fabrique de tuiles romaines dans le bois de Pincemaille. L'on découvrit d'abord l'habitation de l'industriel romain avec chambre chauffée par un hypocauste en parfait état de conservation recouvert de dallages en marbre et de mozaïques. Bains chauds et froids bien conservés. Superbe cave. A 100 m. de l'habitation l'on reconnut une fabrique de tuiles dont l'emplacement des fours étaient encore bien indiqué. Entre la fabrique et l'habitation se trouvaient les huttes des ouvriers.

Hottomont et Glimes. — Fouilles complètes de deux tumulus belgo-romains de 11 m. de hauteur et de 50 m. de diamètre. Par des galeries souterraines boisées l'on atteignit le caveau central. L'un de ces caveaux était en pierres bien taillées s'emboîtant les unes les autres. Ces tombes avaient été saccagées précédemment.

Maurage. — Etude d'un cimetière franc du VIIIe siècle. Tombes creusées dans la craie. Le mobilier était composé d'urnes, de grands et de petits scramasaxes, de framées, de fers de flèches, de boucles de ceinturons en fer et en bronze, de petits couteaux, de boucles d'oreilles en bronze et en argent, de fibules et d'un ornement monétiforme avec le monogramme de Pépin le Bref.

Nous ne pouvons songer à donner ici un résumé ou même la table des matières de l'activité du Service des Fouilles de l'Etat depuis un quart de siècle.

Signalons cependant que ses investigations ont porté sur plus de 800 points de notre pays et que sur nombre de ces points d'importantes et longues fouilles ont été pratiquées; que son atelier de restauration et de reconstitution a réparé et remis en parfait état une quantité considérable d'objets divers en poteries, verrerie, fer, bronze, squelettes, ossements, etc... dont le nombre atteint 3.000.

Personnellement, nous avons exécuté une importante série de reconstitutions archéologiques, telles que des sépultures depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, des lieux de refuge défendus, des types d'habitations primitives, des villas romaines, hypocaustes, barques antiques, pont romain, dolmens, menhirs, grottes préhistoriques, galeries de mines néolithiques, etc...

Ces quelques lignes suffisent pour démontrer que depuis vingt-cinq ans le Service des Fouilles de l'Etat a pris une très large part au développement des connaissances archéologiques nationales, se rapportant aux périodes préhistoriques, protohistoriques belgo-romaines et franques.

NOTES RELATIVES À UN ENSEMBLE D'ATELIERS ET DE STATIONS NÉOLITHIQUES BELGES (¹)

par Em. DE MUNCK,

Président honoraire de la Société Royale Belge d'Anthropologie et de Préhistoire.

A l'occasion du Centenaire de l'indépendance de la Belgique, il m'a paru opportun de jeter un regard en arrière et de réunir quelques notes succinctes relatives à un ensemble de découvertes que, depuis 1874, j'ai faites sur le territoire de la patrie.

Sans parler de mes études sur l'Eolithique de la province de Liége et le Paléolithique des plaines du Hainaut comparées, notamment, avec celles qu'il m'a été donné de faire sur le Paléolithique du rivage de l'Océan Atlantique à La Rochelle (Charente-Inférieure) et sur le Quaternaire des régions de Tours et du Grand-Pressigny (Indre-et-Loire), je ne m'occuperai, aujourd'hui, que du Néolithique de quelques-unes des nombreuses localités de Belgique que j'ai explorées.

Saint-Symphorien et Havré (Hainaut)

A 3 kilomètres et demi au nord-est des célèbres ateliers préhistoriques de Spiennes, aux lieux dits Camp-de-Châlon, Cernaut, (Saint-Symphorien) et Champs-Elysées (Havré), existe un vaste ensemble d'ateliers et de stations néolithiques que j'ai découverts en 1874.

C'est par des milliers de pièces que j'ai recueillies dans ces localités que se sont enrichies notamment les collections du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique et l'on peut dire qu'après Spiennes et Obourg, Saint-Symphorien fut le centre industriel néolithique le plus important du Hainaut.

Au lieu dit Cernaut, se voit une dépression du sol et c'est dans le limon de sable ferrugineux et tourbeux représentant le fond d'un marais qui existait anciennement en cet endroit que j'ai fait mes plus belles trouvailles, grâce à de très nombreuses et profondes tranchées pratiquées pour l'extraction du phosphate de chaux que renferme la craie sous jacente.

Dans ce limon, j'ai souvent rencontré des vestiges de constructions palustres, notamment des pilots disposés verticalement et gisant en un dépôt noirâtre semblable au « fumier » des emplacements des habitations lacustres de la Suisse et cela, précisément, aux endroits où les objets néolithiques étaient les plus abondants.

(¹). Pour ne pas étendre outre mesure le présent travail, j'ai cru devoir m'abstenir d'y mentionner des références qui, pour être complètes, auraient été par trop nombreuses.

Ceux-ci, d'ailleurs, appartiennent à une industrie d'une rare perfection et notamment les splendides haches préparées pour le polissage et que renferment les collections du Musée Royal d'Histoire Naturelle et des Musées Royaux d'Art et d'Histoire à Bruxelles ne laissent aucun doute à ce sujet.

Au cours de mes multiples explorations en Belgique, j'ai recueilli un certain nombre d'objets de l'époque néolithique faits en roches précieuses étrangères au pays. Ces roches sont la chloromélanite, la jadéite, la néphrite et la serpentine originaires du massif alpin ou même de l'Orient.

Parmi ces objets, je mentionnerai une hachette minuscule (amulette) que j'ai récoltée à Cernaut. Percée d'un trou de suspension et polie avec un soin extrême elle constitue un vrai bijou tel qu'on n'en rencontre que fort rarement tant en Belgique qu'à l'étranger.

Un assez grand nombre de pièces que j'ai trouvées à Cernaut et que j'ai déposées dans la collection du Musée Royal d'Histoire naturelle de Belgique et du Musée Préhistorique du Grand-Pressigny sont incontestablement en silex roux plus ou moins translucide provenant de cette dernière localité.

Ce fait établit d'une façon positive que les peuplades néolithiques de Saint-Symphorien furent en relations avec celles de la Touraine.

Mons, Bois de Mons et Mont Panisel (Hainaut)

La ville de Mons, ancienne capitale du Hainaut, située sur une colline dominant superbement les vallées de la Haine et de son affluent la Trouille, a eu pour origine lointaine une station néolithique à laquelle, à l'époque belgo-romaine, a succédé un *Castrum* puis, plus tard, un donjon qui, dès le XII[e] siècle, devint la principale place forte du Hainaut.

A 2 kilomètres environ de la ville se trouvent les ateliers néolithiques du Bois de Mons et du Mont Panisel dont les produits se retrouvent éparpillés sans interruption, vers le nord-est et l'est, jusqu'aux ateliers néolithiques du Camp-de-Châlon, de Cernaut et des Champs-Elysées. Et comme il en est de même, vers le sud, jusqu'à Spiennes l'on peut dire que toute cette région fut le centre industriel néolithique le plus important et le plus peuplé de la Belgique.

La région de l'ouest de Mons jusqu'à la frontière française.
Le passage de la Haine à Nimy (Hainaut)

Sur notre carte préhistorique et protohistorique des environs de Mons, le baron de Loë et moi avons signalé les emplacements de nombreuses stations néolithiques situées entre Mons et la frontière française et, notamment, ceux de Ghlin, du Flénu, de Baudour et d'Elouges.

D'autre part, depuis les ateliers de Saint-Symphorien, jusqu'à Nimy, j'ai récolté de nombreux restes de l'industrie néolithique et, sans aucun doute pour moi, c'est à l'endroit précis où, dans cette dernière localité, les hauteurs dominant les deux rives de la Haine sont les plus rapprochées que les peuplades préhistoriques établirent un passage sur cette rivière. C'est là sans doute aussi l'un des points où les Gaulois franchirent la Haine. Enfin en établissant à cet endroit même leur grande chaussée stratégique

qui part de Bavay (France), passe par Mons pour se diriger ensuite vers le nord de la Belgique, les Romains ne firent que suivre une voie battue depuis des millénaires.

La plaine à l'est de Saint-Symphorien. — Bray et le Bois d'Epinois (Hainaut)

En poursuivant mes recherches vers l'est de Saint-Symphorien, j'ai récolté de nombreux restes de l'industrie néolithique sur la vaste plaine qui s'étend vers Bray.

Sur une éminence située au nord-est de ce village et dominant la vallée du ruisseau d'Estinnes ainsi qu'au Bois d'Epinois (à l'est de Binche) j'ai découvert des stations néolithiques [1].

Beau-Val sous Havré (Hainaut)

A un kilomètre du Camp-de-Châlon, j'ai également découvert dans le Bois-d'Havré, au lieu dit Beau-Val, un atelier néolithique qui semble avoir été une petite succursale du grand centre industriel de Saint-Symphorien.

Cet atelier est situé à front d'un chemin profondément encaissé dont l'origine remonte sans doute aux temps préhistoriques car il relie les stations des régions de Saint-Symphorien aux centres industriels néolithiques d'Obourg et de Saint-Denis.

La rivière la Haine qui coule entre Beau-Val et la région d'Obourg était facilement franchissable au moyen de radeaux, de canots ou d'une simple passerelle de bois. D'ailleurs, le fond de la vallée n'était couvert que de tourbières ainsi que l'attestent des silex taillés et un superbe harpon en os à barbelures unilatérales (collections du Musée Royal d'Histoire naturelle de Belgique) que j'ai recueillis dans le dépôt tourbeux.

Obourg (Hainaut)

Après Spiennes, Obourg fut le centre d'exploitation du silex le plus important du Hainaut car il résulte de mes recherches que ses produits furent largement répandus, à l'époque néolithique, non seulement dans cette province mais même jusqu'à l'extrême nord de la Belgique, en Flandre Orientale.

Si l'on en juge par les splendides coups de poing acheuléens et les instruments moustériens en beau silex noir translucide provenant de l'assise crétacée d'Obourg que j'ai récoltés dans le Quaternaire du Hainaut, ce silex fut longtemps utilisé avant que les peuplades des époques Campignienne et Rhobenhausienne l'aient exploité méthodiquement par tranchées à ciel ouvert et par galeries souterraines à Obourg même.

En 1891, comme l'a écrit le baron de Loë dans son magistral catalogue

[1] A Bray, existait, anciennement, un menhir mesurant dix-huit pieds de hauteur hors de terre, treize pieds de largeur et quatre et demi d'épaisseur. Il s'enfonçait de cinq pieds dans le sol. Malheureusement, ce monument mégalithique, qui fut l'un des plus imposants de la Belgique, a été détruit, en 1753, par un maçon qui en utilisa les fragments pour l'une de ses constructions.

descriptif et raisonné de la Section de la Belgique ancienne aux Musées Royaux d'Art et d'Histoire à Bruxelles, j'ai trouvé dans une galerie néolithique d'extraction du silex à Obourg les restes d'un mineur qui avait été atteint par un éboulement provoqué par la descente subite d'une poche d'altération remplie de sable. L'infortuné, surpris en plein travail, avait encore pour ainsi dire dans la main l'outil dont il se servait pour exercer son périlleux labeur. C'était un pic en bois de cerf à manche bifurqué.

Le mineur d'Obourg conservé au Musée Royal d'Histoire naturelle de Belgique se rattache, par tous ses caractères, aux Néolithiques du type le plus fréquent des grottes funéraires d'Hastière (province de Namur) et de Huccorgne (province de Liége). Il est sous-brachycéphale et sa taille est d'environ 1 m. 55.

Sans dépasser les limites en lesquelles le texte de la présente note doit se maintenir, je ne pourrais mentionner toutes les trouvailles que j'ai faites à Obourg et dans les régions voisines. Qu'il me suffise donc de dire que les principaux ateliers et stations explorés sont situés à proximité des mines préhistoriques d'Obourg aux lieux dits Saint-Macaire, Bosquétiau, Tienne-du-Bois et Bruyères d'Havré, de Ville-sur-Haine et de Saint-Denis lez-Mons.

Le beau silex noir d'Obourg est de pâte très fine, homogène et translucide. Il est excessivement tranchant et, de ce fait, convient tout particulièrement pour la fabrication des couteaux, des racloirs, des grattoirs, des perçoirs et des burins.

Les blocs de silex des assises crétacées du Grand-Pressigny, de Spiennes et des rabots de Saint-Denis étant plus volumineux et ne se réduisant pas aussi facilement en petites et fines esquilles que le silex d'Obourg convenait beaucoup mieux que celui-ci pour la fabrication des grands instruments tels que les haches. C'est donc tout à fait exceptionnellement que, malgré mes recherches, je n'ai recueilli jusqu'ici dans la région d'Obourg qu'une seule hachette polie en silex de cette localité.

Quant aux instruments en bois de cerf et en os : pics, marteaux (ou, d'après M. Jean Houzeau de Lehaie, éclateurs par pression), houes chacune percée d'un trou pour l'emmanchement, lissoirs, perçoirs, etc., j'en ai trouvé à Obourg de fort belles séries que l'on peut voir au Musée Royal d'Histoire naturelle de Belgique et aux Musées Royaux d'Art et d'Histoire à Bruxelles.

Longtemps avant la création de la Section de la Belgique ancienne, j'avais offert en don à l'Etat belge toutes mes collections paléolithiques et néolithiques et, avec l'appui fort bienveillant et éclairé du directeur-conservateur en chef feu Théodore Juste et de son successeur le baron Prosper de Haulleville, j'avais entrepris l'organisation d'une section de préhistoire au Musée Royal d'Antiquités. Mais, en date du 20 août 1887, le ministre compétent écrivit à M. Juste que « le Musée d'Antiquités est avant tout consacré aux anciennes industries d'Art, et bien que le progrès humain s'atteste déjà aux dernières époques préhistoriques par l'emploi du fer et du bronze, les objets façonnés dans ces matières sont loin d'avoir cependant un caractère d'art appréciable qui seul pourrait justifier leur présence dans le dit Musée ».

En conséquence de cette extraordinaire décision ministérielle, je fus forcé d'abandonner dans une dépendance du Musée une série de documents préhistoriques précieux. Elle comprenait entre autres des cendres de bois, de la craie calcinée, de l'argile cuite au rouge avec des débris de torchis, des tessons de poterie, des bois de cervidés, des outils en os, de nombreux ossements d'animaux dont notamment le bœuf, la chèvre, le chien, le sanglier, etc., le tout provenant d'un vaste foyer et de plusieurs emplacements d'habitations néolithiques (fonds de cabanes) que j'avais découverts en un point culminant de la vallée de la Haine et au centre même des exploitations préhistoriques du silex à Obourg.

Cette série qui eût pu servir à d'intéressantes reconstitutions de nature à jeter une vive lumière sur les mœurs des mineurs néolithiques est sans doute hélas, aujourd'hui, perdue pour la préhistoire.

C'est là un fait profondément regrettable et qui montre combien de maladroites interventions ministérielles peuvent compromettre le progrès de la Science.

Relativement à la distribution géographique des produits des ateliers préhistoriques d'Obourg, de Spiennes et de Saint-Denis, je dirai que, dès le début des recherches du docteur Van Raemdonck en Flandre Orientale, j'attirai son attention sur la présence dans la toute première série d'objets néolithiques recueillis par lui d'un certain nombre de pièces en silex provenant de ces localités. Cela l'incita, avant de publier son travail sur le pays de Waes préhistorique, à me demander de lui faire parvenir des échantillons de silex naturels que j'avais extraits des assises crétacées d'Obourg, de Spiennes et de Saint-Denis.

Il put ainsi comparer ces matières premières avec les silex néolithiques qu'il avait trouvés dans le pays de Waes et se convaincre que les peuplades préhistoriques de ce pays furent en relations avec celles qui, dans le Hainaut, exploitèrent ces matières premières. Il alla même jusqu'à présumer qu'une ou plusieurs familles des peuplades des environs de Mons se sont détachées de leurs compatriotes pour aller habiter les bords de l'Escaut à Rupelmonde et y apportèrent non seulement leurs silex mais encore leurs mœurs et leurs usages.

Quoi qu'il en soit, je puis dire, d'une façon générale, que j'ai recueilli des silex noirs d'Obourg dans un très grand nombre de stations néolithiques du Hainaut et du Brabant et que, presque toujours, je les ai trouvés associés aux silex de Spiennes et de Saint-Denis.

Ville-sur-Haine et Saint-Denis (Hainaut)

A Ville-sur-Haine, j'ai découvert un menhir ainsi que des objets appartenant à l'époque néolithique et, à 3 kilomètres et demi de ce menhir, à Saint-Denis, un atelier de la même époque situé sur un plateau défendu par des ravins profonds au fond de deux desquels coulent l'Aubrecheuille et le Becqueron.

Ce plateau, où il m'a été donné également de mettre à jour les restes

d'un cimetière belgo-romain, est connu par les anciens habitants du village sous le nom caractéristique de l'Esplasse [1].

Sans avoir l'importance des ateliers de Saint-Symphorien, celui de Saint-Denis a cependant fourni de très nombreux objets appartenant à la plus belle industrie néolithique et qui ont enrichi les collections des Musées Royaux d'Art et d'Histoire à Bruxelles et du Musée d'Histoire naturelle.

Parmi ces objets, il faut citer, notamment, de très intéressantes meules à bras semblables à celles qui ont été découvertes par Marcel De Puydt dans les fonds de cabanes des villages néolithiques des plaines fertiles de la Hesbaye (province de Liége).

Comme celles de Saint-Symphorien, les peuplades néolithiques de Saint-Denis furent en rapports avec le Grand-Pressigny ainsi que l'atteste un coutelet-racloir en silex roux translucide originaire de cette dernière localité.

Aucune tranchée à ciel ouvert, galerie souterraine ou puits d'extraction du silex n'ont été découverts, jusqu'ici, à Saint-Denis, mais comme le silex gris foncé tacheté de brun abonde dans le terrain crétacé qui affleure aux abords immédiats de l'atelier néolithique, les occupants de celui-ci se contentèrent, sans doute, de le recueillir tel quel à la surface du sol.

Thieusies (Hainaut)

La station néolithique que j'ai découverte à Thieusies sur un plateau dominant la vallée profonde de l'Ambrecheuille m'a fourni de très nombreux restes d'industrie préhistorique que j'ai déposés dans les collections du Musée Royal d'Histoire naturelle de Belgique.

Rœulx et Naast (Hainaut)

Au lieu dit « Petit-Château », j'ai découvert une station préhistorique située sur une éminence d'où l'on domine les plaines du Hainaut.

Après avoir été occupée à l'époque néolithique et peut-être même à l'époque gauloise, cette éminence, défendue en partie par des ravins profonds et en partie par un retranchement, a été habitée à l'époque belgo-romaine, ainsi qu'en témoignent de très belles poteries de cette époque conservées par M. Schmidt, ancien régisseur des biens de la famille des princes de Croy.

Jusqu'ici, je n'ai pu fixer l'âge auquel appartient le retranchement qui, malheureusement, depuis sa découverte, a été en grande partie nivelé par des travaux exécutés en vue de l'établissement d'un élevage.

[1] Peut-être du latin *planus* (plan, surface plane) ; de *platea*, dont dérive le mot *place* qui se prononce *plasse ;* ou bien de *planities* (surface plane, plaine, pays plat).

L'emplacement de la station néolithique et du cimetière belgo-romain de Saint-Denis est situé en un endroit très sablonneux, aride et sec qui, sans aucun doute, formait une clairière au sein de l'antique *Forêt charbonnière* dont, après les défrichements des époques belgo-romaine et franque, des vestiges ont subsisté sous les noms de Forêt de Brocqueroie et de Bois du Becqueron.

A un kilomètre et demi environ au nord-est de la Station néolithique du Petit-Château, se trouve celle du hameau de l'Enfer puis, non loin de là, sur les hauteurs dominant les sources de la Senne à Naast [1], j'ai découvert plusieurs stations néolithiques qui m'ont fourni de très importantes séries d'objets en silex des environs de Mons et quelques pièces dont la matière première provient du Grand-Pressigny.

Des monnaies gauloises, des objets de l'époque belgo-romaine et du haut moyen âge recueillis aux abords immédiats des sources de la Senne, où existe d'ailleurs un important hameau, semblent attester que ces lieux furent habités, sans interruption, depuis l'époque préhistorique jusqu'à nos jours.

Un chemin dont l'origine remonte sans doute à cette époque relie les stations néolithiques du Petit-Château, de l'Enfer et des sources de la Senne à la région située au nord-est et qui s'étend jusqu'à Bruxelles et Louvain.

Dans cette région, les peuplades néolithiques laissèrent d'ailleurs de nombreuses traces de leur séjour ou de leur passage.

Waterloo et La Hulpe

A Waterloo et à La Hulpe, aux hameaux de Roussart et des Baraques, au Champ du Grand-Chêne, au hameau de Gailmarde et sur les hauteurs sablonneuses dominant la vallée de l'Argenteuil, j'ai découvert tout un ensemble d'emplacements qui m'ont fourni des restes de l'industrie et de foyers néolithiques.

Les eaux poissonneuses du ruisseau qui alimentent de grands étangs retinrent sans doute l'homme préhistorique en ces lieux.

Quant à la forêt voisine qui ne représente qu'une infime partie de l'antique Sylva-Carbonaria, elle constitua certainement pour lui un inépuisable territoire de chasse.

Saventhem

Lors de mes premières recherches au Saventerloo qui, comme les bois d'Everbergh, de Vos Capel et de Moorsel fit primitivment partie de la Forêt Charbonnière, j'ai recueilli une petite série de silex néolithiques sur une éminence sablonneuse située au sud du hameau du Loo et qui domine la vallée de la Woluwe au fond de laquelle jaillissent de nombreuses sources qui furent sans doute utilisées par nos ancêtres préhistoriques.

Un chemin dont, à mon avis, la haute antiquité n'est pas douteuse et qui, à partir de Machelen, suit, à mi-côte, la vallée de la Woluwe, passe par la station néolithique du Loo et relie cette station à celle, beaucoup plus importante, que j'ai découverte au point culminant du Saventerloo.

[1] L'on sait que dans le voisinage immédiat de la *villa rustica* et de la *villa fructuaria* des Belgo-Romains se trouvaient d'ordinaire le vivier ou *piscina*, le parc ou la garenne au gibier sauvage ou *vivarium* et le rucher ou *apiarium*. Or, c'est entre autres au lieu dit « Champ de l'*Apitoir* », situé près des sources de la Senne à Naast, que j'ai recueilli de nombreux objets et des vestiges d'habitation appartenant à l'époque belgo-romaine.

Çà et là, aux abords plus ou moins immédiats de ce chemin, j'ai récolté quelques silex néolithiques, notamment près de la Chapelle Saint-Martin

D'autre part, au point de vue de l'étude des origines de nos voies de communication, il importe de noter qu'une vieille route, également disposée à mi-côte de la vallée de la Woluwe, relie directement la station néolithique du Loo à la partie ouest de l'agglomération de Saventhem.

Or, cette partie du village domine, en promontoire, la vallée de la Woluwe et j'y ai recueilli, aux abords immédiats de l'antique rue Haute, des silex néolithiques.

Je dirai en passant que, situé sur un flanc sablonneux, Saventhem (Savel-heim ou habitations sur le sable) [1] porte un nom parfaitement en rapport avec la nature des lieux.

Toujours en suivant la rue Haute, on arrive au Kerk-Ring où, grâce à des terrassements exécutés il y a une trentaine d'années, il m'a été donné de recueillir un fort beau nucléus en silex noir d'Obourg ainsi que quelques grattoirs, coutelets et éclats plus ou moins utilisés. L'antique rue Haute mène ensuite directement à la station préhistorique du point culminant du Saventerloo.

Du sud-ouest au nord-est, l'emplacement préhistorique est entièrement traversé par l'ancien chemin de Saventhem à Humelghem qui n'est autre que le prolongement de la rue Haute et, du nord au sud, par l'antique chemin des Wallons ou Waelschen-Weg.

Cette station occupe une éminence sablonneuse, ou ancienne clairière, entourée, en partie, de ravins en pente douce et tout autour de laquelle croissait, jadis, le Bois-de-la-Bruyère, dernier vestige de la Forêt Charbonnière, dans la région de Saventhem-Nosseghem.

Enfin, vers le bas du flanc exposé au midi, un vieux chemin creux met en communication la station néolithique avec la source du Klein-Beek (à la ferme Ter-Mussen) petit affluent de la Woluwe.

Toute une série d'étangs existait anciennement dans cette vallée et de vastes territoires de chasse, dont, notamment, le Saventerloo, déterminèrent sans doute les tribus néolithiques à se fixer en ces lieux.

Sur ces territoires, j'ai récolté de fort belles pointes de flèches en silex perdues, sans doute, par l'homme préhistorique à la poursuite du gibier.

D'autre part, des restes d'habitations belgo-romaines et des fragments de poteries franques et du moyen âge que j'ai recueillis sur les flancs sud et nord de la vallée du Klein-Beek, l'église de Saventhem, elle-même, dont la construction appartient, en partie, à l'époque romane, attestent la très haute antiquité des origines de ce village.

Comme à la source ferrugineuse (Pouhon) de Bernister près de Malmédy (province de Liége), j'ai retiré des boues provenant du curage de deux sources situées dans la vallée du Klein-Beek, à Saventhem, des restes

(1) Et non pas Seven-tommen, ou les sept tombes, comme l'ont prétendu certains auteurs.

de l'industrie néolithique. L'une de ces sources porte le nom caractéristique de Duivel-Put.

Certaines sources semblent n'avoir attiré l'homme préhistorique que par la nécessité dans laquelle il se trouvait de s'alimenter en eau potable mais, sans doute, il en est d'autres qui, par suite d'idées religieuses ou superstitieuses, sont devenues des centres d'offrandes.

Je puis donc dire qu'à Bernister et à Saventhem il m'a été donné de découvrir, sous forme de nombreux silex taillés ou polis, les dépôts des offrandes, si je puis m'exprimer ainsi, dues à la rudimentaire religion ou à la superstition de nos ancêtres néolithiques.

D'ailleurs, aux abords immédiats de la Chapelle miraculeuse et de la fontaine de Saint-Pierre à Broquettes (Nivelles) j'ai également recueilli une série de silex taillés néolithiques.

Lorsque je fus invité à réorganiser la section d'ethnographie préhistorique du Muséum départemental de la Charente-Inférieure à La Rochelle, je donnai une place d'honneur, dans les vitrines de ce Muséum, à une très belle série de silex et de poteries néolithiques que feu le docteur et ancien ministre Emile Combes avait retirés des boues provenant du curage de l'Etang Sacré de Fontloreau à Colombiers (Charente-Inférieure).

Comme on le voit, les faits que j'ai observés à Bernister, à Saventhem et à Saint-Pierre à Broquettes concordent parfaitement avec l'intéressante constatation que, de son côté, le docteur Combes avait faite à Colombiers.

Tervueren

Je dois mentionner encore des stations néolithiques que j'ai découvertes aux hameaux de Moorsel, de Vossem et au village même de Tervueren, rues de la Chapelle et des Remparts ainsi qu'au lieu dit Montagne du Tabac.

L'emplacement de la station néolithique de Moorsel est situé entre la ferme de Coyge et le Bois de Moorsel, sur une colline de 95 à 100 mètres d'altitude, dont le flanc principal est exposé au sud-ouest.

Lorsqu'ils ne s'isolèrent pas sur des marais en y érigeant leurs habitations sur pilotis, comme c'est le cas, notamment, pour la très importante station préhistorique de Cernaut à Saint-Symphorien (Hainaut), les néolithiques s'installèrent, le plus souvent, au sommet de promontoires bordés par des escarpements ou des cours d'eau.

A Moorsel, ce sont ces dernières conditions d'habitat qui déterminèrent l'établissement d'une peuplade néolithique, car nous voyons qu'en effet, la colline n'est reliée au plateau voisin que sur une faible étendue vers le nord-ouest ; qu'au sud elle est bordée par un ravin profond et, au nord, à l'est et à l'ouest, également par des ravins, mais de moindre importance, toutefois, que celui du sud.

Au bas de la colline, le bois de Moorsel croît, en grande partie, sur un terrain humide et encaissé au fond duquel, avant l'assèchement de la région par suite des défrichements, s'étendait, sans doute, un marais ali-

menté par un ruisseau dont la vallée profonde prend naissance près du hameau de Moorsel et rejoint celle de la Voer à Vossem.

L'homme néolithique de Moorsel put donc se fournir d'eau potable et de poisson. Quant à la forêt primitive, elle fut certainement pour lui un territoire de chasse inépuisable.

Il me reste à dire quelques mots relativement à un beau grattoir sur lame que j'ai recueilli à Moorsel et dont la matière première provient, à mon avis, de l'assise crétacée d'Obourg.

J'ai entendu dire, par un de mes collègues, qu'il était impossible de désigner les lieux d'origine des silex utilisés par l'homme préhistorique.

Il est vrai, pour ne citer qu'un exemple, qu'à elle seule l'assise crétacée de Spiennes renferme de très nombreuses variétés de silex. En 1886, j'ai fait, dans cette localité, le relevé d'environ 23 bancs de silex visibles dans la grande tranchée du chemin de fer de Mons à Bonne-Espérance. J'ai recueilli, alors, des échantillons de ces silex et, après les avoir comparés à ceux que j'avais extraits de la craie d'Obourg, j'ai acquis la certitude que les plus foncés d'entre les silex de la grande tranchée de Spiennes, ne sauraient être confondus avec ceux d'Obourg.

Lorsque leur cassure est fraîche, les silex provenant de la tranchée de Spiennes sont blanchâtres, gris bleuâtre, gris brunâtre ou brun tirant sur le noir et aucun d'entre eux ne saurait être confondu avec le silex d'Obourg qui est d'un beau noir uniforme et remarquablement translucide lorsqu'il est réduit en lame mince. Il est d'ailleurs de pâte très fine, d'aspect vitreux et aussi tranchant que l'obsidienne. Enfin, sa patine noir bleuâtre passant au bleu blanchâtre et, enfin, au blanc le plus pur conserve toujours un aspect vitreux.

Ces derniers caractères peuvent facilement s'observer sur les innombrables silex proven nt des emplacements néolithiques d'Obourg et des environs, et en poursuivant mes recherches depuis ce centre industriel néolithique important jusqu'au bassin de l'Argentine (Brabant), et même au delà jusqu'à Saventhem, Cortenberg, Everberg, Vossem et Moorsel, il m'a été donné de trouver, éparpillés un peu partout, sur le sol et sans interruption, des silex néolithiques d'Obourg.

A mon avis, l'aire de dispersion de ces silex, comme cela a été fait pour le silex du Grand-Pressigny, pourra parfaitement être délimitée surtout lorsque, pour le plus grand honneur de la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire, notre éminent président M. E. van den Broeck aura publié, dans le Bulletin de cette société, son travail sur *la genèse et l'évolution chimique des roches siliceuses belges ayant formé le matériel de nos silex préhistoriques et la question de la patine de ceux-ci.*

Enfin, un silex roux du Grand-Pressigny que j'ai recueilli à Moorsel montre que la peuplade néolithique de cette localité fut en relation avec les célèbres ateliers préhistoriques de la Touraine.

Au sud-ouest de l'endroit où saint Hubert établit sa demeure à la-

quelle succéda le château des ducs de Brabant, se trouve une colline sur laquelle s'est développé le village de Tervueren.

A l'ouest et au nord de cette colline, un ruisseau donnait anciennement naissance à une série de marais et d'étangs qui aboutissaient aux fossés de défense du château ducal. Au sud et à l'est, la Voer et l'un de ses petits affluents, au long desquels existait toute une série d'étangs et de marécages, pouvait contribuer à la défense de la colline.

Cette configuration particulièrement favorable pour se mettre à l'abri tout au moins d'un coup de main ne fut pas sans être mise à profit par ceux qui, au moyen âge sans doute, établirent un rempart pour renforcer les moyens de défense naturels au seul endroit où, au sud-ouest, la colline est reliée au plateau voisin par un isthme relativement étroit.

Au moyen âge, donc, l'emplacement occupé de nos jours par le village de Tervueren pouvait, grâce aux cours d'eau, marais et étangs qui l'entouraient presque de toutes parts, servir de lieu de refuge ou de place forte. Et si l'on considère qu'avant les défrichements de la forêt primitive le régime des eaux régnait dans toute son ampleur, la colline de Tervueren se prêtait à merveille à l'établissement d'une peuplade néolithique soucieuse de sa sécurité.

Je ne fus donc pas surpris de découvrir, notamment aux abords de la rue des Remparts et au lieu dit Montagne du Tabac, des silex néolithiques parmi lesquels des nuclei, des percuteurs, des coutelets, des racloirs, des grattoirs et des perçoirs en silex noir d'Obourg ainsi que d'autres objets dont la matière première me paraît être le silex gris foncé tacheté de brun de Saint-Denis lez-Mons.

Quant aux relations qu'entretint la peuplade préhistorique de Tervueren avec celle des mineurs de Spiennes, elles me paraissent certaines par le fait de la présence, dans la série néolithique que j'ai recueillie sur le flanc méridional de la Montagne du Tabac, d'une hache polie dont la matière première a été reconnue par le baron de Loë et par moi comme provenant de Spiennes.

Cortenberg et Sterrebeek

J'ai recueilli quelques restes de l'industrie préhistorique sur le flanc sud de la colline sablonneuse de Cortenberg ainsi que sur le promontoire du Tuytenberg à Sterrebeek.

Une fois de plus, j'ai reconnu parmi les matières premières employées par l'homme néolithique de la région de Cortenberg-Sterrebeek, les silex de Spiennes, d'Obourg et de l'assise des Rabots de Saint-Denis.

Enfin, cette région est sillonnée par de très anciens chemins, profondément encaissés (1), dont, notamment, celui du Tuytenberg qui porte le nom de Dieweg (2).

(1) Dans des notes relatives aux ravinements de la Forêt de Soignes, j'ai démontré que, par le piétinement des passants et des bestiaux, par l'action des roues des véhicules, ainsi que par les érosions dues au ruissellement des eaux pluviales, les sentiers et les chemins situés sur des pentes se creusent d'autant plus profondément que ces différentes actions se sont prolongées durant des siècles ou des millénaires.

(2) D'après le professeur L. Van der Kindere (*Bulletin de l'Académie Royale de*

Distribution géographique des silex de Spiennes, d'Obourg et de l'Assise des Rabots de Saint-Denis.

Pour ne pas entrer dans des détails qui enlèveraient au présent travail le caractère synthétique que j'ai cru devoir lui donner, je ne ferai qu'énumérer, ci-dessous, les différentes localités du Hainaut et du Brabant où j'ai recueilli des objets néolithiques dont les matières premières proviennent des assises crétacées de Spiennes, d'Obourg et des Rabots de Saint-Denis.

Province de Hainaut. — Angreau, Arquennes, Asquillies, Baudour, Binche, Blaugies, Boussoit, Bracquegnies, Braine-le-Comte, Bray, Buvrinnes, Casteau, Chin, Ciply, Ecaussinnes-d'Enghien, Ecaussinnes-Lalaing, Elouges, Epinois, Erbisœul, Familleureux, Flobecq, Ghlin, Gottignies, Harchies, Harmignies, Havré, Henripont, Jurbise, Maisières, Marche-lez-Ecaussinnes, Masnuy-Saint-Jean, Masnuy-Saint-Pierre, Mignault, Mons, Naast, Nimy, Nouvelles, Obourg, Rœulx, Ronquières, Saint-Denis, Saint-Symphorien, Spiennes, Steenkerque, Tertre, Thieu, Thieusies, Ville-sur-Haine, Villers-Saint-Ghislain, Waudrez.

Province de Brabant. — Auderghem, Boitsfort, Braine-le-Château, Castre, Cortenberg, Dieghem, Dilbeek, Grimberghen, Haut-Ittre, Hoeylaert, Ittre, La Hulpe, Leefdael, Machelen, Melsbroeck, Moorsel, Neeryssche, Nivelles, Oisquerq, Overyssche, Pamel, Rebecq-Rognon, Saventhem, Sterrebeek, Stockel, Ternath, Tervueren, Tourneppe, Uccle, Virginal, Vossem, Waterloo, Wavre.

France (Département du Nord). — Eth, Forêt-de-Mormal, Louvignies (Quesnoy), Roucourt, Sebourg.

Distribution géographique du silex du Grand-Pressigny (Indre-et-Loire).

Depuis que, le 30 janvier 1928, j'ai entrepris une enquête sur la distribution géographique du silex du Grand-Pressigny, mes collègues de la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire ont signalé un assez grand nombre de localités de Belgique et de Hollande sur les territoires desquelles ont été découverts des armes et des outils dont la matière première provient des célèbres ateliers néolithiques de la Touraine.

Pour ma part, j'ai recueilli des silex du Grand-Pressigny dans les localités suivantes :

Province de Hainaut. — Naast, Saint-Symphorien, Saint-Denis.

Province de Brabant. — Moorsel sous Tervueren

Province de Liége. — Bernister.

Province de Limbourg. — Lanaeken, Maeseyck.

Belgique, Classe des Lettres, Décembre 1904), *Dieweg* est l'abréviation de *Diet-weg*, *Died-weg*, c'est-à-dire la *via populi*, *via publica*.

Le sens de DIET, *populus*, est bien connu ; c'est le gothique *thiuda*, ancien haut allemand *diot* ; moyen allemand *diet* ; ancien frison *thiade* ; anglo-saxon *thead*, *thiod* ; ancien nordique *thiod*, *thydi*.

De *diet*, peuple, est venu *dietsch*, la langue populaire (le flamand).

WEG en flamand *Weg*, Chemin.

Mon excellent et savant collègue, M. J. Vannérus, a bien voulu me faire savoir que, comme à Uccle (Brabant), il existe, à Vlytingen (Limbourg), un *Dieweg*, vieux chemin creux qui se rattache à l'ancienne voie romaine.

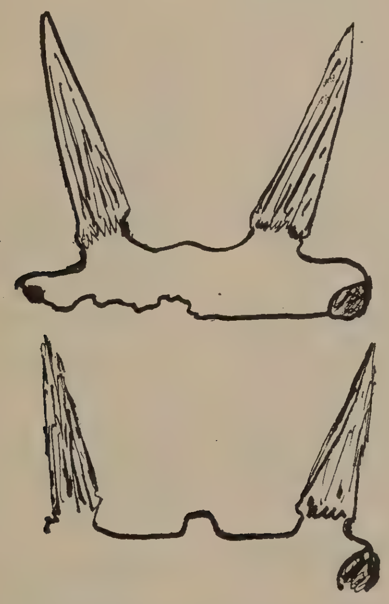
SAÏGA TARTARICA DANS LE PLÉISTOCÈNE BELGE

par le Docteur Georges HASSE.

Parmi les nombreux restes d'animaux fossiles que le quaternaire de la Belgique a fournis, un vertébré nous a semblé mériter une courte notice pour le voir revivre dans la haute et la basse Belgique et rester un des témoins les plus typiques du climat de cette époque.

Dans le quaternaire pléistocène, une époque, le magdalénien, nous a donné le plus d'éléments de comparaison avec la Laponie actuelle où le froid est intense en hiver, l'été court et chaud et dont la flore et la faune se ressemblent : le renne, l'antilope saïga, le bœuf musqué y vivent et au magdalénien nous avons le mammouth et le rhinocéros en plus.

L'antilope saïga tartarica vit actuellement dans les steppes de la Volga et en Asie occidentale près de la mer Caspienne en troupeaux nombreux.



Elle se rend, en été, dans les régions habitées par le renne au Nord, en hiver vers le Sud jusqu'aux régions habitées par les gazelles de Perse et ces migrations se font pas petites troupes guidées par un vieux mâle.

Pouvons-nous par le nombre des restes retrouvés supposer que le

pléistocène vit les mêmes migrations se faire, ainsi que le même genre de vie : nous devons le supposer, malgré le petit nombre de découvertes belges.

Le matériel osseux fossile belge étudié se répartit en :

1. Saïga Tartarica, 1 frontal et 1 cheville osseuse :
   trou de Chaleux (Lesse). Premier niveau ossifère.
   Age du renne, paléolithique (Musée royal d'Histoire Naturelle, Bruxelles) Haute Belgique 1865.

2. Saïga Tartarica
   Canal de Gand-Terneuzen : Selzaete 1880 ; draguages
   2 frontaux et chevilles osseuses
   3 humérus gauches (Musée Royal d'Histoire Naturelle, Bruxelles).

3. Saïga Tartarica
   Hemixem 1913 flandrien pléistocène en place
   2 frontaux et chevilles osseuses (collection Dr G. Hasse, Anvers).

4. Saïga Tartarica, mâle actuel (Steppes)
   crâne, coll. M. R. H. N. et squelette
   Saïga Tartarica, femelle actuelle
   crâne, coll. M. R. M. N.

Ces restes appartiennent en tout à 5 individus dont deux jeunes : fossiles ; 2 individus : vivants actuels.

Saïga Tartarica actuelle

M. R. H. N.
Jeune mâle
Longueur du crâne, 23 cm.
Largeur du crâne, 10 cm.

Les frontaux sont réunis au milieu par une crête qui se prolonge sur l'occipital et est *très accentuée.*

Chevilles osseuses du frontal écartées de 5 cm.
Longueur, 11 cm.
Diamètre, 3 cm.
Crête orbitaire inclinée vers le bas et large de 1 cm.
Face postérieure du frontal droit accolée à l'occipital.

Largeur du crâne à la base des temporaux, 8 cm.

Saïga Tartarica Fossile

Saïga T Chaleux M. R. H. N.
Individu jeune.

Une cheville osseuse avec fragment de frontal.
Longueur supputée, 10 cm.
Diamètre, 2,5 cm.
Cannelures dans le bas, lisse dans le haut comme chez *Rupicapora.* Os du frontal mince.

2. *Saïga Tartarica*

Largeur du crâne, 12 cm. *Selzaete* M. R. H. N.
Fragment de crâne, occipital.
Temporaux frontaux avec chevilles osseuses.

Ces frontaux sont réunis au centre par une crête osseuse *marquée* vers l'occipital.

4. *Saïga Tartarica (Pallas) actuelle* (cf. Mus. Ostéol. Hue)

Longueur du crâne, 23 à 27 cm.
Hauteur près des cornes 10 à 15 cm.

Chevilles osseuses des frontaux écartées de 6 cm.
Longueur, 12 cm.
Diamètre, 3 cm.
Cannelures très accentuées.

Crête orbitaire 2 cm. de saillie horizontale.

3. *Saïga Tartarica.* Hemixem 1913 (coll. D[r] G. Hasse, Anvers)

2 frontaux avec chevilles osseuses.
Individu très âgé.
Epaisseur des os 1 cm.
Largeur du crâne 14 cm.
Les frontaux sont réunis par une crête *peu saillante.*

Chevilles osseuses des frontaux écartées de 5 cm.
Longueur 13 cm.
Diamètre 3 cm.

Cannelures très accentuées.

Saïga Tartarica actuelle (M. R. H. N.)
Humérus gauche adulte :

Longueur, 16 cm.
Largeur, 2,5 cm.
Elargi fortement vers la tête articulaire supérieure qui n'a presque pas de collet.

Courbé vers la tête articulaire inférieure.

Face externe plane.

Saïga Tartarica Selzaete (Fossile) (M. R. H. N.)

Humérus gauches

Un adulte
Longueur, 16 cm.
Largeur, 2.5 cm.

Deux jeunes
Longueur, 13 et 11 cm.
Largeur, 2 et 1,5 cm.

L'os est droit vers la tête articulaire supérieure qui se détache par un *collet très marqué.*

Vers la partie inférieure, l'os est droit.

Face externe, crête d'implantation *très marquée.*

Il ressort de l'étude de ces diverses pièces que la *Saïga tartarica fossile* avait :

1° Des orbites plus prononcées défendant mieux les yeux dans les batailles ;

2° Un crâne un peu plus large vers l'occipital *donc meilleure musculature* de la région cervicale ;

3° Des os longs plus droits donc mieux adaptés à former des individus capables de longues courses.

La Saïga tartarica moderne semble avoir *perdu des aptitudes coureuses accentuées* par les migrations diminuées parce que l'homme qu'elle craint beaucoup lui barre la route libre.

Brehm et Ménegaux nous disent que Saïga Tartarica prise jeune devient aussi familière qu'un chien, et nous pouvons supposer que l'homme paléolithique l'a élevée et domestiquée puisque nous la retrouvons près de lui dans la vallée de la Lesse.

Il était encore extrêmement intéressant de marquer que la Saïga retrouvée en basse Belgique s'y trouvait réellement en habitat naturel.

Albert Gaudry dans son étude sur les Saïgas en France dans le Paléolithique dit que l'étude des vivants et des fossiles indique la même taille soit celle du mouton environ ; il signale comme différences entre l'actuelle et la fossile :

1° Les molaires des fossiles ont plus de cément ;

2° Les molaires inférieures ont leurs dentricules plus comprimés et leur muraille interne plus aplatie ;

3° Les rainures des canons plus marquées.

Ces trois caractères observés sur les Saïgas en France corroborent ceux trouvés sur *le crâne* et sur l'*humérus* des fossiles belges.

L'absence d'os longs de saïgas dans les cavernes semblerait faire croire, que les cornes seules intéressaient l'homme paléolithique soit qu'il les ait employées pour faire des épieux ou débitées pour faire des aiguilles, des peignes, des lissoirs.

En France, on a trouvé des restes nombreux de Saïgas sur les bords de la Tardoire à Rochebertier et dans beaucoup d'autres gisements de l'âge du renne dans le Sud, puis en Allemagne, en Moravie, en Pologne, en Hongrie et en Angleterre dans la vallée de la Tamise.

Les caractères qui différencient la Saïga fossile et la Saïga vivante ne sont pas assez considérables pour en faire une espèce différente, mais nous y voyons seulement un individu qui a varié dans son squelette *en raison de nécessités et d'aptitudes qui ont changé. L'homme forme de plus en plus un barrage pour les migrations et la chasse constante et trop accentuée* a diminué les troupeaux et les mâles moins nombreux n'ont plus les batailles de jadis ; la saïga actuelle est un être moins bien armé, un régressif obligé.

En terminant ces quelques notes, nous devons remercier le Musée Royal d'Histoire Naturelle de Bruxelles pour toutes les facilités qu'il offre aux hommes de science dans leurs recherches et particulièrement son dévoué directeur M. V. Van Straelen.

BIBLIOGRAPHIE

A. ARCELIN, *Matériaux pour l'histoire de l'homme*, format. quart. aux environs de Mâcon, 2e série, **8**, 112 (1877).

BOURGEOIS et DELAUNNAY, La Grotte de Rochebertier, 191, dans *Matér. pour l'histoire prim. de l'homme*, **10** (1875) ; **5**, 5 (1874).

E. DUPONT, *L'homme pendant les âges de la pierre ;* Bruxelles, Muquaerdt, 1872.

A. GAUDRY, De l'existence des Saïgas en France, *Matér. pour l'histoire des temps quaternaires ;* Paris, 1880.

GRAY, Antilopinae ; *Ann. of Nat. History*, London.

FLOWER et LYDEKKER, *Mammals Living and Extinct*, 341, Antilopinae section London (1891).

E. HUE, *Le Musée Ostéologique*, **1** et **2**, Antilope Saïga ; Paris, 1907.

GERVAIS, *Journal de Zoologie*, **2**, 230 (1873).

E. LARTET, Remarques sur la faune de Cromagnon dans *Reliquiae aquitanicae*, London 1869.

LYELL (Sir Ch.), *The Geological Evidence of Man*, 142 ; London, 1873.

J. MURIE. On the Saïga Antilope, *Proceed. Zool. Soc. London*, 1870.

J. MURIE, Antilope Saïga, *Comptes rendus Académie Sciences Paris*, 1864.

A. NEHRING, *Tundreu und Steppen*, 1890.

MENEGAUX, *Les mammifères*, **2**, 409 ; Paris, 1902.

PALLAS, *Specilegia Zoologica*, fasc. 12, 21, pl. 2, 3 ; Berlin, 1777.

A. NEHRING, Ueber Cuon, Ovis, Saïga, *N. Jarhb. für Miner*, 191, 1891.

RUTOT, *Le Quaternaire de la Belgique ;* Bruxelles.

SMITH WOODWARD, Saïga Tartarica Forst, *Proceed. Zoological Society London*, 613 (1890.)

K. ZITTEL, *Traité de Paléontologie* trad. Barrois ; Gazellinae, **4**, 418 ; Paris.

LE REFUGE PROTOHISTORIQUE ET ROMAIN DE BUZENOL (Belgique)

par E. RAHIR,

Conservateur honoraire des Musées royaux d'Art et d'Histoire
Directeur honoraire du Service des Fouilles de l'Etat.

Le lieu de refuge de Buzenol est désigné dans le pays sous le nom d'Oppidum de Montauban. Il est intéressant à plus d'un titre et tout d'abord par sa situation écartée des grandes voies de communications, ce qui en a assuré la bonne conservation. Ensuite, il nous a fourni d'importants documents relatifs à son mode de construction et à son occupation à l'âge du fer.

De plus, ce refuge défensif laisse voir nettement que les Romains y ajoutèrent d'autres travaux destinés à rendre la place encore moins accessible. En plus, l'on y a découvert de très remarquables pierres romaines sculptées, vestiges de monuments funéraires.

Le Service des Fouilles de l'Etat, rattaché à la section Belgique Ancienne des Musées Royaux d'Art et d'Histoire entreprit d'en faire la fouille en 1913-1914. Jusqu'à présent aucune étude complète n'en a été publiée. Au début de 1913, ce travail défensif nous avait été signalé par M. l'abbé Ch. Dubois et par M. Verhulst, directeur d'école à Virton, à la suite d'une exploration qu'ils en firent.

En compagnie de M. l'abbé Dubois, nous reconnûmes l'excellent état de conservation des levées de terre qui, à première vue, paraissaient remonter à l'époque belgo-romaine. M. l'abbé Dubois obtint pour nous l'autorisation d'y faire toutes les recherches nécessaires.

En notre présence, notre chef fouilleur C. Collard aidé du garde particulier Thirion, de Buzenol, ouvrit des tranchées en de multiples points de ce travail défensif

Avant d'étudier ces tranchées, disons d'abord que ce refuge occupe une surface plus ou moins triangulaire, d'une largeur de 110 mètres à la base du triangle et d'une longueur d'environ 200 mètres ainsi qu'on le remarque sur le plan d'ensemble (fig. 1).

Cet ouvrage s'étend sur un promontoire se terminant en pointe vers le sud et qui est facilement accessible au nord, là où il se rattache au plateau. Il domine de 60 mètres environ le ruisseau de Laclaireau qui s'écoule à ses pieds.

Vers l'extrême pointe du promontoire, l'on remarque les vestiges bien visibles d'une tour à base rectangulaire (fig. 1 en T) qui est précédée,

vers la déclivité sud, de travaux d'approche sous la forme de levées de terres étagées et courbes (I, II et III de la fig. 1), au nombre de trois établies entre les altitudes de 45 et de 60 mètres au-dessus du thalweg du vallon.

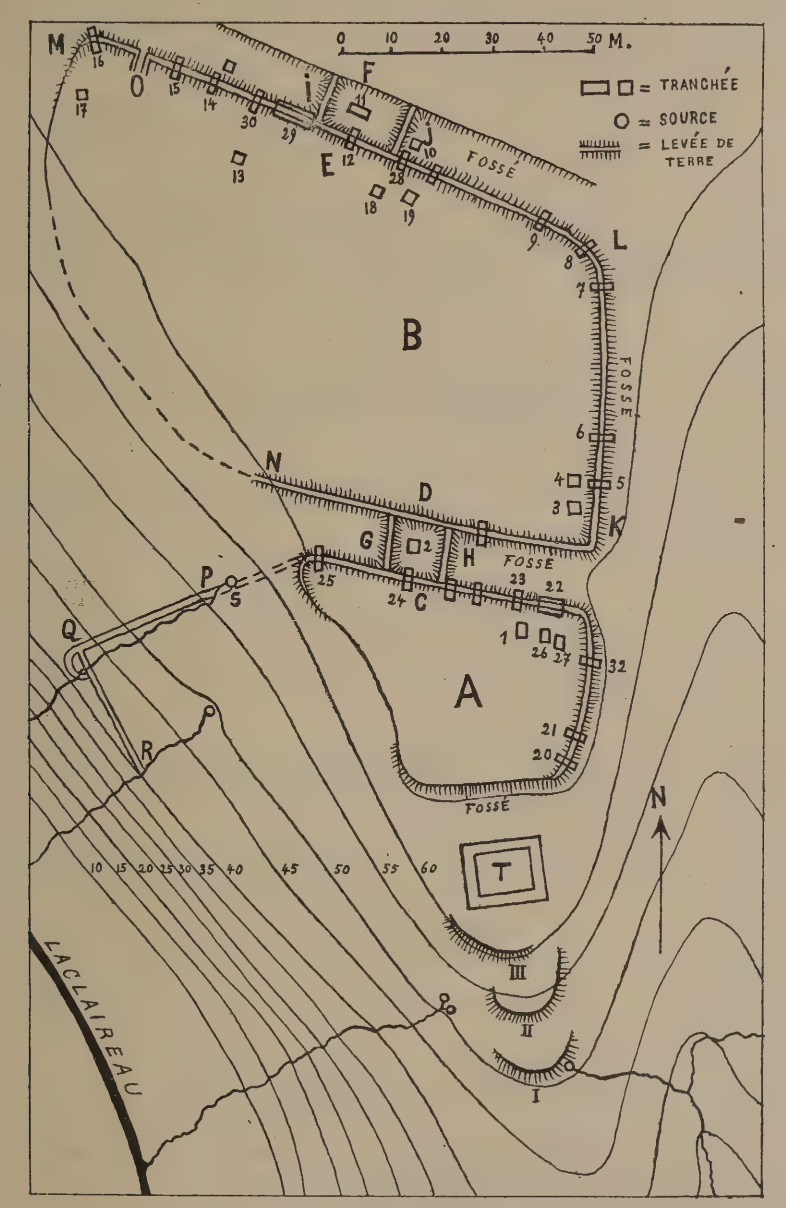


Fig. 1. — Plan du refuge

Au nord de la tour s'étendent deux réduits de dimensions assez irrégulières et inégales (A et B, fig. 1) défendus de tous côtés par des levées de terre et des fossés, sauf vers l'Ouest où la forte déclivité vers le ruisseau

de Laclaireau ne nécessitait pas d'importants travaux défensifs. Peut-être y avait-il là une simple palissade, suffisante pour empêcher l'accès des réduits.

L'importance des levées de terre, en moyenne de quatre mètres de hauteur, mais atteignant jusqu'à 6 mètres (du fond des fossés jusqu'à la crête des levées de terre), nous a tout d'abord fait présumer que l'on se trouvait en présence d'un oppidum belgo-romain.

Nous allons étudier successivement la tour T et les deux réduits A et B.

A signaler ici qu'à 150 mètres au S.-E. du réduit A sur une déclivité à pente douce du plateau, vers le Sud, nous avons découvert dans le sol de nombreux débris d'urnes représentant les vestiges d'un cimetière belgo-romain ou d'un habitat de la même époque.

Tour T. — Cette tour a, en plan, la forme d'un quadrilatère de 15 m. de diamètre suivant la direction E. O. et de 12 m. dans la direction N. S. Ses murs construits en matériaux assez irréguliers et souvent assemblés sans mortier, ont une épaisseur d'environ 2 mètres.

Nous avons tout d'abord dégagé un enfoncement en forme de meurtrière qui se remarquait sur la face intérieure de la tour. Cet enfoncement ne se continuant pas au travers du parement extérieur du mur, n'était donc pas une meurtrière.

Au centre de la tour, parmi les débris écroulés des murailles, nous avons ouvert une tranchée jusqu'au point où nous espérions rencontrer un pavement, mais, contrairement à nos prévisions, nous n'avons été arrêté que par un sol en terre battue.

Là, nous avons rencontré une couche de charbon de bois qui reposait sur des pierres et des terres rougies par l'action du feu. Aucun vestige archéologique nous permettant d'établir l'âge de cette tour n'y a été recueilli. Sa construction très défectueuse nous fait présumer qu'elle ne remonte pas au delà du moyen âge. L'abondance de charbon de bois, rencontré sur le sol à l'intérieur de la tour et l'absence totale de débris de tuiles, ardoises ou autres matériaux similaires, nous fait présumer qu'elle devait être recouverte de bois ou de torchis.

Ajoutons aussi que nous n'avons pas trouvé d'indice d'occupation de quelque durée.

Cette tour est séparée du réduit A par un large fossé qui se creuse sur une longueur d'environ 25 mètres (fig. 1).

Réduit A. — Ce réduit est délimité du nord à l'est par une levée de terre, au sud par un fossé qui le sépare de la tour T et à l'ouest par la la déclivité vers le ruisseau de Laclaireau.

Il occupe une surface à peu près plane de 35 mètres sur 40 mètres.

Nous avons ouvert quelques tranchées au travers des deux levées de terre et à l'intérieur de la place. La tranchée n° 1 nous a montré, à une

profondeur de 50 centimètres, du charbon de bois et des terres rougies par le feu. La tranchée 21, dans la levée, a rencontré également du charbon de bois et de la terre rougie.

La tranchée n° 32, ouverte un peu plus au nord et en travers de toute la largeur de la levée de terre, nous a montré d'une façon très nette, à

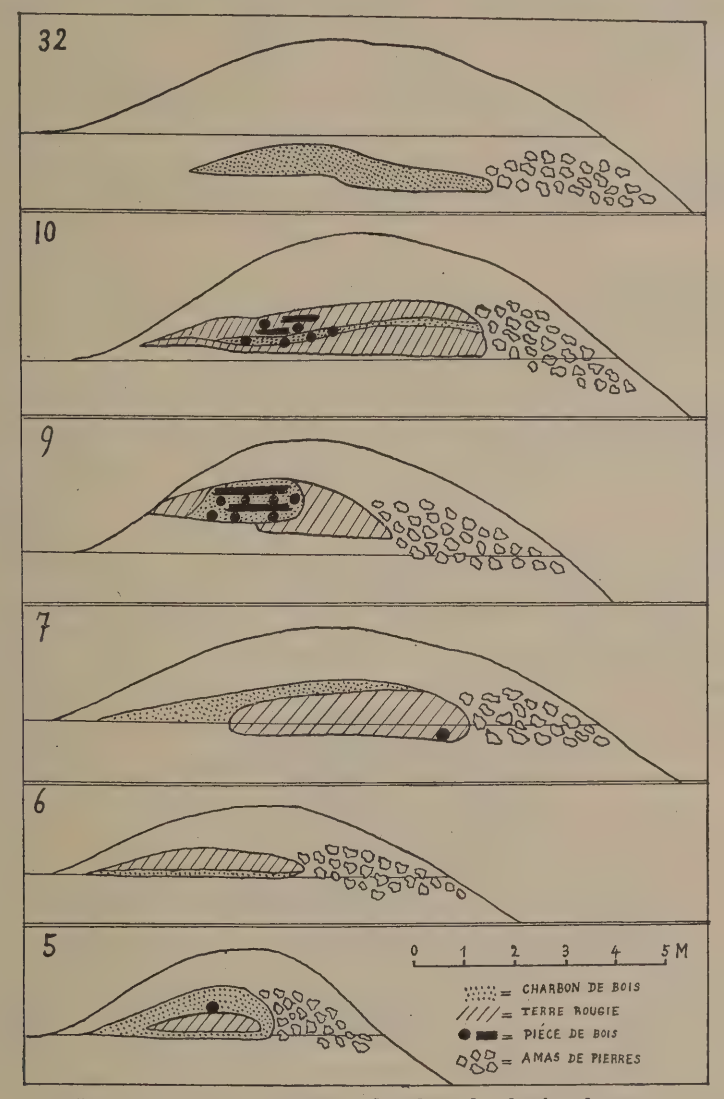


Fig. 2. — Coupes transversales dans les levées de terre

2 m. de profondeur, une couche de charbon de bois avec un peu de terre rougie, sur une épaisseur de 60 centimètres.

Cette couche (voir la coupe fig. 2) s'étendait sur une largeur de près de 6 mètres. Vers l'intérieur de la levée de terre, elle venait s'appuyer

contre une accumulation de pierres placées intentionnellement en ce point, sans doute pour consolider la levée de terre vers l'extérieur, c'est-à-dire le point d'où pouvait venir l'attaque.

Dans cette couche de charbon de bois, nous avons découvert un important élément nous permettant de fixer avec précision l'âge de ce travail défensif ou, du moins, celui des premières défenses établies en ce point. C'était une pièce de monnaie gauloise en potain, très bien conservée, d'un poids de 5 gr. 720.

D'après Blanchet, elle aurait été coulée par les Leuques (1er siècle avant J.-C.). Les Leuques habitaient une petite partie de la Champagne, de la Lorraine et du duché de Bar. Or, la limite nord du duché de Bar se trouvait précisément entre Longwy et Longuyon et remontait entre Virton et Etalle c'est-à-dire passait aux environs de Montauban et donc à ce refuge.

Tranchée n° 22. — Cette tranchée fut ouverte dans la levée de terre rectiligne limitant le nord du Réduit A (fig. I). Elle nous a amené une découverte inattendue et de la plus haute importance. A une profondeur d'environ 2 mètres nous avons rencontré nombre de grandes pierres dont plusieurs portaient des sculptures. Ces pierres, qui se trouvaient donc sous la levée de terre, reposaient sans aucun ordre sur le sol meuble et occupaient une surface de 1 à 2 mètres de largeur sur 5 à 6 mètres de longueur suivant l'axe de la levée, c'est-à-dire dans la direction E. O. Il y en avait une vingtaine et, parmi celles-ci, sept qui portaient des sculptures (bas-reliefs avec personnages, moulures, etc...) Sur l'une d'elles était gravée, en latin, une inscription funéraire.

Toutes les pierres intéressantes, d'origine romaine il n'y a pas de doute, ont été expédiées immédiatement aux Musées Royaux du Cinquan-

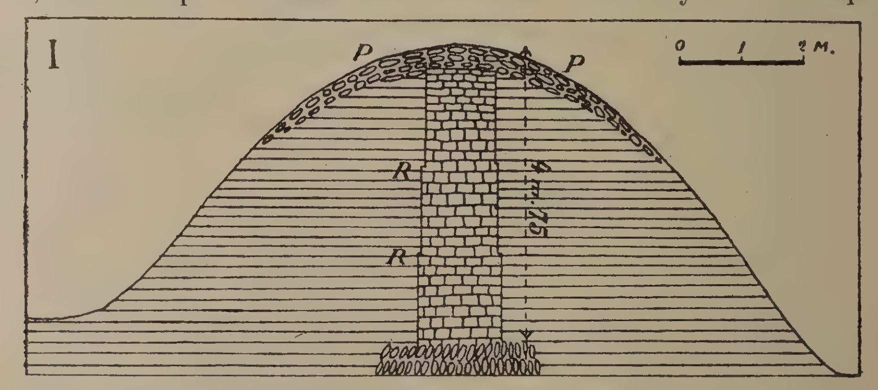


Fig. 3. — Coupe transversale de la levée de terre et du mur

tenaire. Il a été reconnu alors que ces pierres appartenaient à plusieurs monuments funéraires.

Immédiatement contre ces pierres et à l'ouest de celles-ci (fig. 3), nous avons mis au jour un mur en petit appareil régulier, bien construit et qui se dirigeait vers l'ouest, suivant l'axe de la levée de terre. Si le mortier

reliant les pierres ne renfermait pas des fragments de tuiles ou de briques donnant au ciment romain la couleur rose si générale, c'est parce que la tuile et la brique n'étaient pas utilisées ici pour la construction.

Ce mur, incontestablement romain, avait, en ce point, une largeur de 1 m. 15 à sa partie supérieure et 1 m. 35 à sa base. Sa hauteur était d'environ 2 m. 30 (voir coupe fig. 3).

En creusant quelques tranchées dans cette même levée de terre jusqu'à son extrémité ouest, nous avons constaté que le mur se continuait sur toute la longueur de la levée. Ajoutons que cette levée de terre s'élevait d'environ 4 mètres au-dessus de la surface du réduit et de plus de 5 mètres au-dessus du fossé qui le séparait du réduit B.

Dans la tranchée n° 1, comme dans la levée de terre au voisinage du mur, l'on a découvert des débris de charbon de bois et de terre rougie avec de très petits fragments de poteries, à pâte grossière caractéristique de l'âge du fer.

De la levée de terre C à la levée de terre D, séparées par un fossé, nous avons remarqué l'existence de deux levées de terre assez basses (G. H., fig I) qui devaient avoir pour but de relier, semble-t-il, le réduit A au réduit B.

A l'intérieur de ces deux levées basses, distantes l'une de l'autre d'environ 14 mètres, le fossé était un peu plus profond qu'à l'extérieur. Une tranchée ouverte en ce point (n° 2) a montré du charbon de bois et de la terre rougie.

Le réduit B, plus grand que le réduit A, est contourné de trois côtés (N. E. S.) par une levée de terre, tandis que le réduit A n'était défendu par des levées de terre que de deux côtés (N. E.).

La partie D de cette levée de terre (celle E. O.) parallèle au grand mur romain était beaucoup plus basse que la partie est et surtout que la partie nord ; sa hauteur n'était que de 0 m. 50 en moyenne au-dessus de la surface du réduit et de 1 m. 50 au-dessus du fossé. Les tranchées ouvertes dans cette partie de la levée n'ont rencontré ni charbon de bois ni terre rougie.

La levée est se dirige droit vers le nord et, à environ une cinquantaine de mètres de son point de départ, elle se courbe pour prendre alors la direction O.-N.-O. sur une longueur de plus de 120 mètres, où elle se termine en tournant vers le sud, là où elle se rattache à la déclivité vers le ruisseau de Laclaireau. Ce versant vers Laclaireau est complètement dépourvu de levée de terre et de fossé.

Vingt tranchées ont été ouvertes dans cette portion de la levée de terre qui, au point K (fig. 1), ne s'élève que de 1 m. 50 au-dessus de l'intérieur du réduit, mais sa hauteur s'accentue graduellement vers le nord et à la courbe L, elle atteint 2 à 3 m. d'élévation. Dans toute sa longueur de 120 mètres, la levée nord atteint très généralement une hauteur de 3 à 4 mètres au-dessus de l'intérieur du réduit et jusque 6 m. au-dessus du fossé qui borde le travail défensif.

A remarquer qu'entre E et F, existe le même dispositif de deux petites levées de terre parallèles entre elles et perpendiculaires à la grande levée de terre, comme en C et D reliant les réduits A et B. Ici, la distance entre les deux petites levées est de 18 mètres. A l'intérieur, une tranchée (n° 11) a fait mettre au jour du charbon de bois et de la terre rougie.

Les dix principales tranchées ouvertes dans la grande levée de terre ont toutes rencontré du charbon de bois, parfois de gros fragments et même des troncs d'arbres de 0 m. 15 à 0 m. 20 de diamètre, en plus de terres rougies par l'action du feu.

Les tranchées 5, 6, 7, 9 et 10 ont été creusées sur toute la largeur de la levée de terre (voir les coupes de ces tranchées, fig. 2). Partout nous avons trouvé le même dispositif, mais il était plus nettement indiqué dans les tranchées 9 et 10 et plus particulièrement dans la tranchée 9 (fig. 2).

Nous y remarquons des pièces de bois croisées, disposées en plusieurs rangées les unes sur les autres et charbonnées par l'action du feu. Le feu calcinait les pierres intercalées entre ces bois. Ces pièces de bois, toutes en chêne, ont un diamètre assez général de 15 à 20 centimètres. Elles se trouvaient toutes dans une couche de terre rougie par l'action d'un feu violent.

Partout, nous constatons, vers le versant extérieur de la levée de terre, la présence d'une accumulation de pierres irrégulières, destinées, évidemment, à consolider cette partie du travail défensif.

Ajoutons que nous n'avons reconnu ici que la partie inférieure du travail établi par les populations de l'âge du fer, la partie supérieure ayant été enlevée ou détruite, sans aucun doute, par les Belgo-Romains lorsqu'ils s'établirent dans ce refuge. D'après les constatations faites dans ces tranchées, l'on peut dire que les Romains surélevèrent de 1 à 2 mètres ces travaux défensifs.

Ce refuge a donc été occupé à l'âge du fer, à la période romaine et certainement aussi au moyen âge, ainsi que le prouve, notamment deux cuillères en bronze datant de cette dernière époque, la construction de la tour rectangulaire et la base de mur (haut de 0 m. 60) reconnue à la surface de la levée de terre sur 12 mètres de longueur (29, fig. 1). Il en est de même pour la construction de l'entrée O, au nord du refuge (fig. 1).

La tranchée n° 23 qui était inachevée, a été continuée en profondeur et des deux côtés de la grande muraille romaine. Nous avons alors pu dresser une coupe complète du mur romain, là où il était le mieux conservé et même tout à fait intact et là aussi où la levée de terre était le mieux conservé.

La coupe de cette tranchée (fig. 3) montre que la muraille avait, en ce point, une hauteur de 4 m. 75 et qu'elle reposait sur des fondations de moellons en pierres sèches, dressées sur champ.

Ainsi qu'on le voit, cette muraille, large de 1 m. 35 à sa base et de

1 m. 15 à son sommet, a deux redents placés à peu près à égale distance. Ce mur très bien construit, n'était évidemment pas destiné à être enterré, il n'avait pas, non plus été élevé en ce point dans un but exclusivement défensif, sinon il n'y aurait pas de redents. Ce qui nous indique aussi que son rôle n'était pas essentiellement défensif, c'est qu'il laissait libre, à chacune de ses extrémités, un passage très large permettant un facile accès à l'intérieur du refuge.

Cette coupe nous montre encore que la partie supérieure de cette levée de terre était recouverte d'une calotte de pierres irrégulières, qui avait pour but, sans doute, de consolider la partie supérieure de la levée de terre. Cela se remarque en tout point de cette levée de terre.

Tour. — Le plan exact de la tour T nous a montré qu'elle n'est pas régulièrement rectangulaire, comme nous le croyions. L'un des grands côtés du rectangle mesure 17 m. 70, tandis que l'autre n'a que 16 m. 50. Sa largeur est de 12 mètres.

En plus d'une ouverture qui était bien une meurtrière, contrairement à ce que nous pensions précédemment, nous avons reconnu deux autres meurtrières.

L'une s'ouvre sur la face Nord de la tour, là où le mur a une épaisseur de 2 m. 50. Sa hauteur est de 1 mètre à l'intérieur et de 0 m. 50 à l'extérieur, la fente est large de 10 centimètres. Le toit de la meurtrière est formé de plusieurs pierres disposées horizontalement et dont les trois premières (à partir de l'extérieur) sont disposées en escalier.

L'autre meurtrière, percée dans la paroi est de la tour, là où le mur a une épaisseur de 1 m. 90, n'est pas identique à celle de la face N. ; elle a 0 m. 85 de hauteur à l'intérieur et 0 m. 65 à l'extérieur. Son angle d'ouverture est un peu plus aigu que celui de la meurtrière précédente. Son toit n'est plus formé de pierres mais de sept pièces de bois dont la longueur varie de 0 m. 40 à 1 m. 80 et dont l'épaisseur est de 0 m. 15. Ici, toutes les pièces de bois sont placées au même niveau.

La présence de ces meurtrières démontre que la tour date du moyen âge et ne remonte pas à l'époque romaine.

Toutes les faces extérieures de la tour ont été déblayées jusqu'à leur base dans le but de rechercher si des pierres sculptées romaines n'y seraient pas encastrées, pierres analogues à celles dont il a été question précédemment.

Nous avons ainsi mis au jour un assez grand nombre de pierres étrangères au sol de la région et qui étaient décorées de sculptures romaines. Ces pierres au nombre de 25 ont été remplacées dans les murs par d'autres dans l'intention de ne pas nuire à la solidité de la tour.

Toutes les pierres intéressantes ont été transportées ensuite dans les ateliers des Musées Royaux du Cinquantenaire. Le poids moyen de chacune de ces pierres est d'environ 500 kilogrammes.

Travaux de défense à l'ouest du grand mur romain

A une cinquantaine de mètres à l'O.-S.-O de l'extrémité du grand mur romain, nous avons reconnu la base d'une tour semi-circulaire, à l'angle de deux murs, dont l'un se dirigeait vers le grand mur romain et l'autre, perpendiculairement au premier (fig. 1, P. Q. R.).

Le grand diamètre intérieur de la tour est de 5 m. 40 et le petit diamètre de 4 mètres ; elle n'était donc pas exactement semi-circulaire. Construite en pierres irrégulières et avec beaucoup moins de soins que le long mur romain de 53 mètres ; elle paraît de construction plus récente que celle du mur romain.

Le mur, qui se détache de cette tour et se dirige vers le grand mur romain a 2 m. 50 de largeur. Sa trace a été relevée sur le sol, sur 40 m. de longueur.

Nous présumons qu'il se reliait à l'extrémité ouest de la grande levée de terre du réduit A. L'autre mur, perpendiculaire au premier, s'étendant sur une longueur de 20 mètres, se termine au bord d'un ruisselet dont les eaux, provenant de la source S (fig. 1) dégoulinent vers le ruisseau de Laclaireau. Au delà de ce ruisselet, nous n'avons pas retrouvé les vestiges d'un mur.

Nous pensons que cette partie du travail défensif est du même âge que celui de la tour T, c'est-à-dire du moyen-âge.

Pierres sculptées romaines

Il ne nous a pas été possible, jusqu'à présent, d'affirmer que ces pierres sculptées romaines, provenant de monuments funéraires, auraient été transportées de loin pour être encastrées probablement au moyen âge dans les murs de la tour ou enterrées aux extrémités du grand mur romain.

Parmi ces pierres, nous avons mis au jour une borne de route ce qui permet de croire qu'elles auraient été transportées ou du moins celle-là, d'un autre endroit. Des fragments de pierres, de même nature que celles sculptées et en assez grande quantité, ont été rencontrées un peu partout dans les tranchées, sur toute la longueur de la grande muraille romaine, à tous les niveaux et à son voisinage.

*
* *

Monsieur J. Breuer, Attaché des Musées Royaux d'Art et d'Histoire a bien voulu nous rédiger l'annexe suivante sur les monuments lapidaires de Buzenol. Nous l'en remercions.

ANNEXE

Monuments lapidaires de Buzenol

par J. Breuer

---

28 Les deux inscriptions ont déjà été publiées par Waltzing, dans le *Musée Belge*, 57-62, 1922 et par Fincke dans le 17e rapport de la *Römisch-germanische Kommission de Francfort*, 21 et 106, 1929.

Un examen méticuleux me permet d'apporter quelques compléments et corrections aux lectures proposées.

La date de la borne milliaire, attribuée par Drexel à Claude, est indiscutable ; son érection se place entre janvier 44 et janvier 45. Il n'est pas nécessaire de lire d'une manière exceptionnelle le nom de la ville de Trèves ; la distance a été bien indiquée AB AVG (usta). Quant au chiffre, on pourrait hésiter entre LVII et LXII : je crois cependant préférable d'adopter le premier chiffre, déjà proposé par M. de Loë (*Notions d'archéologie*, p. 179).

La seconde inscription, celle d'un monument funéraire est fortement mutilée. Il serait possible de faire quelques conjectures sur les différents noms de personnages. Je crois pouvoir proposer ici comme certains les noms des enfants : IVVENIS et CASSIANUS.

Les nombreux restes de pierres sculptées nous font penser qu'elles proviennent de plusieurs monuments funéraires du genre de ceux de Neumagen, mais aucune tentative de reconstitution n'a été faite. Parmi les meilleurs débris, je signale une scène de pesée de marchandises, un groupe d'hommes occupés probablement dans une boutique, un chariot, un laboureur, etc.

Bon nombre de pierres représentaient des personnages vêtus à la mode gauloise.

La matière employée est le calcaire dit de Differdange, en usage dans le pays luxembourgeois et trévirois, sauf quelques fragments en grès rouge également utilisé dans la même région.

LA NECROPOLE A INCINÉRATION DE RIETHOVEN

par Louis STROOBANT.

Topographie. — Riethoven, jadis *Rythoven*, *Rithoven*, *Rischoven* semble signifier *hof*, curtis ou ferme, près du ruisselet *de Riet* ou *de Rijt* = ruisseau = *ris*, d'où *Curtis du ruisseau.* Il y a quantité de villages dans la *Meyerij* dont la désinence *hoven* semble indiquer l'établissement de tribus Saliennes comme Veldhoven, Westerhoven, Mereveldhoven, etc., voisins des *cellas* de Netersel, Reusel, Duizel, Eersel, Knegsel, Steensel, etc.

Le Dr A. EVELEIN a fait niveler en 1910 le terrain de la nécropole du *Keersop* et a fait apparaître ainsi, en ton foncé sur le sable plus clair, les circonférences formées par le petit fossé, rempli de terre noire (*humus*) creusé autour de chaque tombelle. Ces circonférences empiétaient l'une sur l'autre, de manière à présenter en plan un enchevêtrement de cercles. Mais M. EVELEIN a remarqué judicieusement que les circonférences espacées régulièrement et *alignées*, renfermaient chacune des urnes du type le plus ancien (type gallo-germanique) tandis que les types d'urnes plus récentes (types friso-batave) semblent avoir été interposés ultérieurement entre les tombelles primitives.

La conclusion en est, qu'une peuplade peut-être germanique, aurait utilisé postérieurement la nécropole existant avant l'époque de La Tène, d'où *confusion* de céramiques funéraires différentes dans une même *parcelle.*

Le plan de la nécropole à incinération de Riethoven a été publié par le Dr J. H. HOLWERDA [1]. On y remarque les circonférences des tombelles de périodes différentes se chevauchant. Les circonférences alignées et espacées de la nécropole primitive sont rangées en parallèles et orientées vers l'Est. Elles contenaient chacune une urne gallo-germanique, Hallstattienne ou Villanovienne qui sont les types d'urnes les plus anciens de Riethoven.

Ces alignements parallèles sont fréquents dans les champs d'urnes de la Campine. A Rijckevorsel [2] notamment les alignements parallèles s'étendaient sur une longueur de 2 à 3 kilomètres du Sud au Nord. Si chaque tombelle y avait été surmontée d'un menhir, l'aspect aurait été assez semblable à celui des alignements de Carnac. A Tilbourg, les tombelles de la nécropole à incinération étaient orientés E.-O. [3].

Les Germains ou Proto-Saxons, venus plus tard à Riethoven, ont égale-

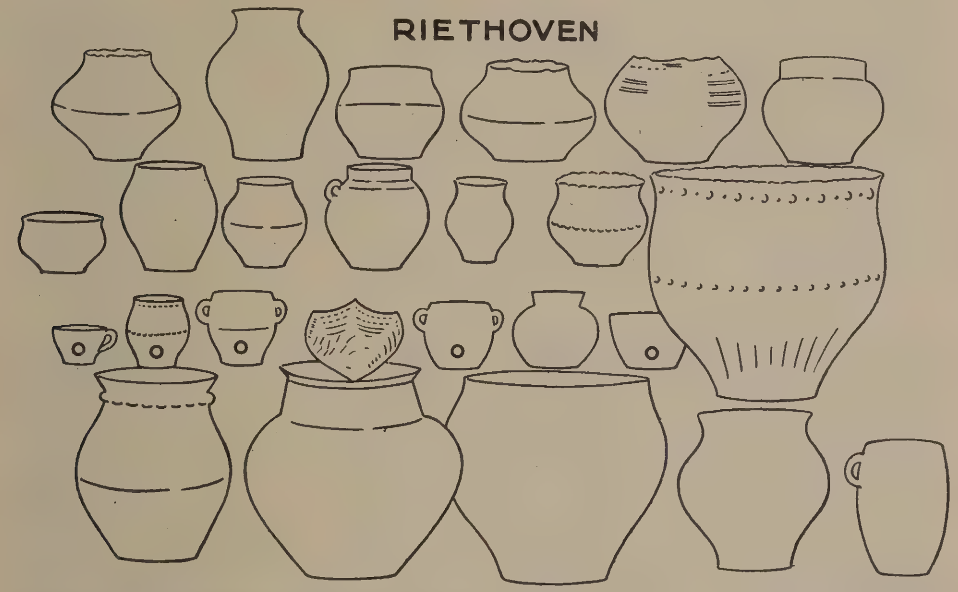
(1) Dr J.-H. HOLWERDA, *Urnenveld Riethoven*, in *Oudheidkundige mededeelingen van het Rijksmuseum van oudheden te Leiden*, **7**, 1913.

(2) L. STROOBANT, *La nécropole à incinération de Ryckevorsel* (Anvers) in *Annales de l'Académie Royale d'Archéologie de Belgique*, 1921.

(3) *Cf.* le plan de cette nécropole in HERMANS, *Geschiedkundig mengelwerk*, **2**, 347-348.

ment incinéré leurs morts dont ils ont déposé les urnes funéraires dans l'ancienne nécropole, entre les tombelles primitives et sans se préoccuper d'alignements, en les enfouissant simplement, en les entourant d'un léger fossé circulaire. Cette constatation est intéressante parce qu'elle démontre l'usage prolongé d'une même nécropole dans le lucus ancien. Les tard venus ou intrus semblent d'ailleurs avoir observé les mêmes rites et professé des croyances identiques.

Les urnes. — Les urnes les plus anciennes sont du type hallstattien dégénéré et appauvri. Certaines d'entre elles ont des affinités avec les profils Italiques de Villanova dont dérive la culture d'Hallstatt. Mais le type manque de franchise et donne l'impression d'une dégénérescence.



Nécropole à incinération de Riethoven. Les urnes marquées o sont les plus récentes.

Comme le remarque fort judicieusement le Dr Holwerda, les intrus sont de forme dite germanique. Il les date, avec raison, des débuts de l'ère chrétienne. Leurs cols, légèrement rentrants, leurs petites oreilles, les apparentent à la céramique de la Lusace (Lautsitz) décrites par Behla [1]. On les rencontre en Gueldre ainsi que dans le Limbourg hollandais. Ce genre de céramiques peut être daté de la domination romaine. Holwerda démontre que les champs d'urnes dits *tard-saxons*, dont on a attribué les types aux décors de La Tène, sont des succédanés du type de Lautsitz. M. Stampfuss (in *Mannus*, Leipzig, 1926, p. 290), parlant des trouvailles de Riethoven, y voit des produits de la civilisation de la fin du Bronze IV. Cette civilisation serait importée en Campine par des Germains venus du N.-E. et

[1] Behla, *Die Urnenfriedhof mit Thongefasse der Lautsitz Typus.*

traversant le *Teutoburgerwald* et la Lippe supérieure, vers l'an 1150 à 1000 avant J.-C.

Pour de nombreuses raisons exposées dans nos procès-verbaux de fouilles en Campine, nous ne pouvons être de l'avis du savant STAMPFUSS. La nécropole à incinération de Riethoven date de la fin d'Hallstatt, de La Tène et 2° des premiers siècles de notre ère, en ce qui concerne les intrus *tard-saxons*.

D'ailleurs l'avenir prouvera que la plupart des datations devront être rajeunies.

Les *barbares* venus en Taxandrie des bords de l'Yssel (Sala ou Ysala) seraient ceux ayant conservé le type plus ou moins dégénéré d'Hållstatt. D'après AMMIEN, cette migration devait déjà être ancienne du temps de l'expédition de Julien.

Mais une partie de ces peuplades de Saliens avait continué à résider dans l'île des Bataves (ZOZIME, lib. 3) où ils étaient molestés par les Quades, peuplade saxonne. C'est alors qu'ils vont implorer Julien pour lui demander la faveur de passer *également* en Taxandrie. Cela leur fut accordé, peut-être en considération du fait que quantité de Saliens servaient déjà dans les légions romaines. Les Quades ayant finalement chassé les Saliens de l'île des Bataves, Julien favorisa la retraite de ceux-ci sur les terres de l'Empire. Ce sont peut-être ces derniers venus les importateurs en Taxandrie des types d'urnes saxonnes.

Lieux-dits et folklore. — Entre le hameau Keersop-lez-Riethoven et le village de Westerhoven, s'élèvent trois collines appelées *Elvenberg* (colline des Elfes), *Duivelsberg* (colline du Diable) et *Oorenberg* (colline des ooren [?] = oreilles [?]). Ces trois élévations sont distantes l'une de l'autre d'environ dix minutes. Les *Kabauters* (nutons) s'assemblaient au *Oorenberg* (ou *Norenberg*, peut-être colline des Nornes). Près du *Duivelsberg* nous trouvons un *Duivelsven*, mare ou étang du diable ainsi que la *Juffrouwendijk* (Digue des Demoiselles). Ces trois lieux-dits ont diverses légendes publiées il y a trente-huit ans par PANKEN [1]. Les *Kabauters* qui habitaient jadis le *Duivelsberg* étaient inoffensifs et ne se défiaient pas des habitants. Un jour, un chasseur voyant un *Kabauter* qui le précédait, le mit en joue et fit feu. Le petit homme, mortellement blessé, se traîna jusqu'au *Duivelsberg* où il disparut. Il y entendit les lamentations des *Kabauters* disant : *Kyrië is dood* (Kyrië est mort). Depuis cet événement, les *Kabauters* ont disparu de Riethoven. Ainsi Thamus, arrivé aux Palodes, cria : « *Magnus Pan est mortuus.* »

Des légendes de *Kabauters* analogues à celles de Riethoven se racontent à d'autres nécropoles campinoises et notamment à celles de Casterlé lez-Turnhout [2] où nous trouvons le *Kabauterberg*.

[1] *Cf.* la revue de folklore de CORNÉLISSEN et VERVLIET, *Ons Volksleven*, Brecht, 1892, p. 30, articles de PANKEN. Au *Duivelsberg*, Colline du Diable, on entend le soir les diables qui y tiennent le sabbat. Ils font de la musique et viennent boire à la *duivelsven*, mare du diable, voisine.

[2] Louis STROOBANT, *Les nécropoles à incinération de Casterlé*, (Anvers) in *Bulletin de l'Académie Royale d'Archéologie de Belgique*, 1920.

La Tène. — Nous croyons avoir démontré que la majorité des nécropoles à incinération que nous avons explorées en Campine : à Ryckevorsel, à Merxplas, à Turnhout, à Beersse, à Vosselaer, à Luiks-Gestel, à Brecht, à Baerle-Duc, à Baerle-Nassau, à Grobbendonck, à Alphen, à Raevels, à Weelde, à Casterlé, à Meir, à Bergeick, à Neerpelt, à Riethoven, à Saint-Léonard, à Velthoven, à Riel, à Goirle, à Poppel, à Oolen, etc., datent en majorité *surtout* de la *civilisation* de La Tène et ont servi de quatre à trois siècles avant Jésus-Christ jusque quatre à cinq siècles après Jésus-Christ.

Dans la Gaule romanisée, la civilisation romaine remplaça généralement celle de La Tène. Cela n'est pas vrai pour la Campine, contrée située à l'extrême limite N. de l'empire romain et nous en déduisons que la Taxandrie ne fut jamais romanisée. Les découvertes d'objets romains y sont rares, comparativement au S. du pays. C'est que la population continua à se servir du mobilier funéraire de La Tène longtemps après l'invasion romaine. Ainsi que nous le disions en 1907, au congrès archéologique de Gand [1], il n'est pas sage de vouloir classer les nécropoles campinoises dans la chronologie de la civilisation latine. Les Flamands de la Campine, descendants des Chamaves, Bructères et autres peuplades saliennes ou saxonnes, sont restés des *barbares* longtemps après l'arrivée des Romains. Les techniques d'Hallstatt et de La Tène semblent avoir survécu dans le N. de la Belgique, longtemps après la romanisation des provinces wallonnes.

Nous nous flattons d'avoir, le premier en Belgique, soutenu cette thèse. Mais déjà en 1903, Undset [2] avait signalé la découverte d'objets dits de l'âge du bronze avec des céramiques de La Tène. Après lui, le Dr J. H. Holwerda, dans plusieurs études remarquables, souligne l'importance des objets, dits de l'âge du bronze, découverts dans des sépultures romaines en Allemagne. Les mêmes constatations furent faites jadis par Joly, à Renaix, mais on déclara gratuitement « que les objets romains qui les accompagnaient étaient d'intrusion postérieure ».

De même les *Urnenfelden* de l'Allemagne du Nord, que l'on date avec raison du deuxième siècle *après* le Christ, démontrent que la civilisation de La Tène y était encore en vigueur. Holwerda a prouvé en outre que les profils des urnes saxonnes du IVe siècle *après* le Christ, révèlent incontestablement l'influence de la civilisation de La Tène.

Il semble donc que c'est faire fausse route que de vouloir rapporter à la classification trop absolue des Gaules romanisées, les objets dits de l'âge du bronze, lorsque ceux-ci sont découverts dans les contrées, dites germaniques, et qu'elles sont accompagnées de céramiques manifestement postérieures.

(1) Louis Stroobant, *Ancienneté relative des vestiges de la période hallstattienne en Belgique. Quel est l'âge des tombelles de la Campine* ; in *Congrès archéologique de Gand*, 1907.

(2) Undset, *Mainzer Festschrift* et *Correspond. bl. für Anthropologie*, 1903. — Holwerda, *Inleiding tot eene archeologie van Nederland*, overdruk uit *Onze Eeuw*, **6**, 257, 1906.

Les civilisations d'Hallstatt et de La Tène écloses (?) au S. de l'Europe, ont certainement mis un certain temps avant de fleurir dans les plaines de la Taxandrie, de la Hollande et de l'Allemagne du Nord (1). Cela a été démontré par Undset (2) qui dit que l'âge du fer n'a nullement mis fin à l'âge du bronze et que la survivance de l'âge du bronze a perduré dans les contrées du Nord et se confond avec le second âge du fer et la période de La Tène.

Les nouveaux facteurs que nous avons introduits dans la discussion de l'âge des nécropoles de la Campine, notamment la toponymie et les légendes qui s'y racontent, viennent confirmer cette manière de voir.

Accepter les théories de la grande majorité des préhistoriens belges, qui datent les nécropoles campinoises de l'âge du bronze, serait nier l'existence en Campine de ces vaillants Saliens qui plus tard, font la conquête de la Gaule.

Si les nécropoles de la Taxandrie ne sont pas celles des Taxandres, Bructères, Tenctères, Chamaves, Sicambres, connus *plus tard* sous le nom générique de Franks Saliens, nous nous demandons où sont leurs sépultures. Depuis trente ans que nous fouillons en Campine, nous n'avons rencontré qu'une seule fois (à Brecht) des poteries ornées à la roulette et rappelant les cimetières des Franks classiques (de Spontin, Eprave, Criel, Ciply, Haulchin, etc.). Par contre, nous découvrons, presque dans chaque village campinois, des urnes tard hallstattiennes, La Téniennes et Proto-Saxonnes.

Nous en inférons que les Franks, antérieurs à l'introduction du christianisme en Taxandrie et antérieurs à l'inhumation, vivaient sous l'influence de la civilisation *appauvrie* de Hallstatt et de La Tène. La rareté des bijoux et des armes, la grossièreté et la forme fruste et dégénérée de la céramique, révèlent une population pauvre, aux mœurs rudes et primitives.

La toponymie de ces nécropoles, toujours la même, permet d'avancer que celle-ci est contemporaine des incinérés, et comme cette toponymie est flamande, nous en déduisons que les incinérés de la Taxandrie parlaient une langue bas-saxonne ou thioise qui se rapprochait sensiblement du flamand.

Enfin les traditions, les légendes odiniques se rapportant aux bois sacrés, aux tombelles, aux arbres à vertus curatives, aux puits de la Dea Hellia, aux collines de la loi (wetsberg, malberg) qui se répètent et sont des constantes là où existent des nécropoles, nous incitent à les considérer comme des survivances de la religion odinique qui était celle de ces ancêtres de la race flamande.

Celle-ci semble n'avoir jamais été romanisée et les rares postes romains que nous rencontrons dans le Nord de la Belgique, sont clairsemés comme jadis les stations belges au centre de l'Afrique (3).

(1) Sophus Müller, *Urgeschichte*. — Hoernes, *Urgeschichte des Menschen*. — von Sacken, *Das Gräberfeld von Hallstatt*. — Gros, *La Tène*, etc.

(2) Undset, *Das Auftreten des Eisens*. — Wilhelm Reinecke, *Luneburger Museumsblätter* (1912).

(3) La nécropole de Riethoven a été explorée par nous et par Panken, en 1905. Elle a livré 44 urnes, un marteau en pierre perforé, deux épingles en bronze à tête de pavot et un anneau en bronze.

LES RELATIONS COMMERCIALES ENTRE SPIENNES ET LE NORD DE LA BELGIQUE

par M. Lucien DURSIN

de l'Institut International d'Anthropologie.

L'intéressante communication de M. E. de Munck sur « L'ensemble des ateliers et stations néolithiques belges » et plus particulièrement l'orientation de ses recherches sur l'aire de dispersion du silex des couches crétacées de Spiennes et sur les voies de communication préhistoriques, m'ont semblé rendre opportunes des observations faites dans le même sens. Durant les années 1928 et 1929, M. Fr. Engels et moi, avons entrepris des fouilles en divers emplacements du centre minier de Spiennes.

L'exploration de puits d'extraction, l'ouverture de fonds de cabanes et d'ateliers de taille nous ont fourni de nombreux instruments en silex bleu-gris, bien spécial, des assises crétacées dites à rabots de la région et nous permirent l'étude attentive de l'outillage de cette roche.

D'une part, le dépôt de collections de silex néolithiques de Spiennes dans nos musées régionaux, notamment au Musée du Steen d'Anvers, au Musée Taxandria de Turnhout et au Musée archéologique de Saint-Nicolas ; d'autre part, les recherches que nous avons poursuivies dans le nord du pays nous ont permis d'identifier de nombreux instruments en silex de Spiennes et d'Obourg disséminés en Flandre et en Campine.

Il en est résulté que nous avons la conviction d'une liaison étroite entre les stations néolithiques des provinces d'Anvers et de Flandre orientale et les régions d'extraction du silex du Hainaut, cependant éloignées des premières de plus de cent kilomètres.

Immédiatement la question se pose de savoir de quelle manière le silex de Spiennes et d'Obourg est parvenu en des régions aussi lointaines.

Trois hypothèses se présentent : Cet apport a dû se produire soit par fait brutal, soit par le commerce ou par immigration.

L'examen de la première hypothèse d'importation par fait de guerre ou de razzia se rattache à l'opinion qu'émettent certains préhistoriens de ce que, dans la vie primitive, chaque tribu est confinée dans son territoire de chasse et n'a guère avec les tribus voisines que des conflits belliqueux. Dans le sein même de la tribu, il n'y a aucune idée ni occasion d'échange, la vie est réduite à une extrême simplicité ramenant les conditions d'existence à une sorte de communisme intégral.

Un transport d'outillage ne s'effectuait dans ces conditions qu'à la suite d'incursions et d'expéditions guerrières, tel que cela se pratiquait en Afrique, il n'y a pas encore si longtemps.

Il semble que l'on ne peut retenir cette hypothèse que pour autant que les races visées soient très primitives et il faut certainement l'écarter pour les races néolithiques arrivées à un stade de vie sociale aussi développé que celles de Spiennes, rationalisant et divisant par spécialités la taille du silex. De plus, l'état de guerre ne devait plus être tout à fait permanent : il n'aurait pas permis le développement de l'industrie et l'établissement à demeure sur grande étendue tel que nous le constatons au Camp à Cayaux.

Nous voyons également que, dès que l'homme sort de la sauvagerie, le commerce a sa raison d'être et se développe progressivement. C'est grâce au commerce, si fruste soit-il, que les peuples s'accoutument à ne plus se considérer toujours et nécessairement comme des ennemis et c'est par lui que le vieil esprit guerrier a été peu à peu miné et refréné. L'organisation de l'extraction, la division du travail de la taille et l'expérience acquise dans ce travail ne laissent aucun doute sur le but indéniable d'exportation et sur l'esprit de civilisation pacifique des Spienniens.

C'est aussi l'hypothèse de l'existence du commerce au néolithique que nous devons retenir comme la plus exacte. Il est en effet impossible de s'arrêter à l'hypothèse de l'importation du silex de Spiennes dans le nord du pays par immigration, aucune raison ne laissant supposer que des peuplades favorisées par la possession de régions riches en silex aient émigré vers des régions où rien ne semble nous indiquer qu'elles aient pu jouir de meilleures conditions d'existence.

Si nous retenons l'hypothèse de la distribution du silex de Spiennes par fait commercial, il se pose la question de savoir par quelles voies ce trafic s'est effectué. Il n'est pas douteux que, dès le néolithique, il dut exister, de station à station, des sentiers particulièrement parcourus et semblables aux pistes africaines. Bon nombre de nos routes actuelles, particulièrement celles fortement encaissées, menant à des sources ou à des endroits pouvant servir de lieux de refuge ont, sans aucun doute, une origine préhistorique.

La découverte, tant en France qu'en Belgique, de cachettes ou dépôts d'instruments en silex comprenant, non pas des silex de diverses formes trouvés pêle-mêle, mais des groupages, par catégorie, de haches, de grattoirs et de lames, démontre l'existence d'un trafic de colportage par ces pistes. (Caches de Baudour, de Saint-Symphorien, de Marche en Famenne, et observations faites par MM. de Munck et Debove).

L'aire de dispersion du silex par ces voies terrestres devait être forcément limitée, non seulement à cause du poids de la matière, mais aussi par l'insécurité qui devait régner le long de ces sentiers primitifs.

La profusion de grands instruments en silex de Spiennes disséminés dans les stations le long de l'Escaut et de ses affluents et l'abondance de haches polies, de même provenance, trouvées dans le Nord du pays laissent supposer également un acheminement par la voie fluviale.

A l'époque néolithique, la Haine et la Trouille devaient avoir un débit bien plus considérable que de nos jours. Il suffit de considérer à ce sujet le nombre d'anciens étangs et viviers renseignés sur les cartes du

siège de Mons par les armées de Louis XIV, pour avoir une idée de ce que dut être, dans des temps encore plus éloignés, le régime de ces rivières.

La Trouille, réduite aujourd'hui à ne plus être qu'une petite rivière non navigable ne dépassant pas 3 à 4 mètres de largeur a eu autrefois, au Sud et à l'Est de Spiennes, une largeur d'environ 30 mètres, fait démontré par les bas-fonds et terrains marécageux existant actuellement entre les plateaux de Spiennes et de Nouvelles.

Les néolithiques ont dû connaître l'utilité des radeaux et des pirogues, et personne ne pourrait contester qu'à l'époque des palafittes, synchronique de celle de la florissante industrie spiennienne, leur emploi ne fut d'usage courant : on est même autorisé à penser que l'époque des palafittes a été précédée de la connaissance de la navigation, laquelle a permis la plantation de pilotis et la construction des premières habitations lacustres.

Les palafittes découverts à Audenaerde, à Afsné et à Melle près de Gand, à Stambrugge, à Roulers et à Neckerspoel près de Malines, sont autant de jalons de la route commerciale de l'Escaut et de ses affluents et démontrent la prédilection des néolithiques scaldiens pour ce genre d'habitat, leur procurant une plus grande sécurité que sur terre.

Ce facteur de sécurité, ajouté à ceux de la possibilité de transport de grandes charges, de l'orientation aisée et de la rapidité a été à la base de la préférence donnée aux transports par eau pour l'exportation au loin des produits de l'industrie de Spiennes.

Les pirogues protohistoriques à étrave et à proue pointues, exhumées à Neckerspoel et à Austruweel, près d'Anvers, ne sont que des types évolués de pirogues plus anciennes, néolithiques, formées de la moitié d'un tronc d'arbre, évidé par le moyen du feu et à bouts coupés droits, qui, avec les radeaux, furent les premiers moyens de transport.

La continuité absolue de la dispersion du silex de la région de Mons vers le Nord est confirmée par les observations de MM. de Munck et Cloquet sur sa présence en une série de stations réparties depuis Spiennes et Obourg jusqu'au centre des provinces de la Flandre Orientale et du Brabant.

Quoique fort éloignée du centre minier spiennien, la station préhistorique de Mendonck, située sur un ancien bras de l'Escaut au Nord de Gand, renferme néanmoins par milliers des lames en silex des couches à rabots. M. E. Van Overloop, à qui nous devons la découverte de cette station, indique avec précision que ces lames n'ont pas été fabriquées sur place mais qu'il admet des relations commerciales, et il étaye son hypothèse par un argument des plus sérieux, celui de la trouvaille, en de nombreux endroits, de masses d'instruments accumulés dans un petit rayon, tendant à faire supposer un stockage de marchandises destinées à devenir l'objet d'un trafic. M. De Pauw appuie cette thèse sur l'observation, à Spiennes, de semblables rassemblements en un endroit restreint d'instruments non utilisés. Il faut donc supposer que la station de Mendonck constituait un des marchés d'exportation du silex de Spiennes.

Plus en aval sur le cours de l'Escaut, Rupelmonde se révèle également comme une station d'écoulement du silex des bancs crayeux des environs de Mons.

Le Dr Van Raemdonck dans sa *Préhistoire du Pays de Waes* et le R. P. J. J. Van den Gheyn, S. J., dans la *Revue des questions scientifiques*, renseignent la découverte de quantité d'instruments en silex de Spiennes et d'Obourg en nombre de stations situées sur la rive gauche de l'Escaut et le long de son affluent la Durme, et chose plus intéressante encore, la présence de rognons intacts ou brisés de silex noir dans le sable d'un ancien banc de l'immense Escaut préhistorique, au hameau du Kauter, près de Kieldrecht.

Ces deux savants chercheurs constatent que ces rognons ont dû être enlevés à un dépôt crayeux, et par conséquent ne sont pas en place à l'embouchure de l'Escaut, et ils émettent l'hypothèse que ce ne sont autre chose que des blocs matrices utilisés par les peuplades préhistoriques vivant le long de l'Escaut et tombés dans le fleuve qui les aurait chassés jusqu'au Kauter.

Enfin, la découverte par MM. De Pauw et Willemsen, d'une sépulture néolithique à la Tête de Flandre vient apporter un argument décisif à l'hypothèse de relations suivies entre les populations de la région de Mons et celles du Nord du pays.

Cette sépulture révèle, outre des silex gris-bleu de provenance indéniable de Spiennes, des débris de vases présentant une analogie très marquée avec les caractéristiques des vases de Spiennes et de Boitsfort, poterie à pâte grossière, modelée à la main, à fond sphérique et à col évasé donnant aux vases l'aspect d'un casque renversé.

Le vase complet de la Tête de Flandre mesure 20 cm. de haut et 22 cm. de diamètre à l'ouverture, ceux de Spiennes 17,8 à 28 cm. de haut et 20 à 30 cm. de diamètre à l'ouverture ; ceux de Boitsfort, 17 à 18 cm. de haut et 22 à 25 cm. de diamètre à l'ouverture. Un objet curieux est le support pour vase, à fond concave, haut de 7 cm., large à sa base de 8 cm. et long de 10 cm. qui fait immédiatement penser aux supports pour vases des récentes découvertes de M. Rahir, à La Panne.

Il est regrettable que la découverte de la sépulture de la Tête de Flandre n'ait révélé qu'une mandibule inférieure, ne permettant pas de tirer des conclusions au point de vue anthropologique, et il est à espérer que des découvertes futures procureront des documents ostéologiques suffisants pour permettre de déterminer la race des néolithiques ayant occupé le Nord de notre pays.

En effet, grâce à l'étude faite par le professeur Ch. Fraipont des trois crânes néolithiques de Spiennes, découverts par le baron de Loë, l'exhumation d'un crâne néolithique scaldien permettrait aujourd'hui de déterminer si la race ayant résidé en nos régions était indigène ou s'il y eut colonisation par les Spienniens.

SUR LA RELATION ENTRE LES RACES FOSSILES ET LES RACES ACTUELLES DE L'EUROPE

par O.-G. LECCA.

Quoique plus riche que les autres continents en fossiles humains, l'Europe (ou mieux l'Eurasie) ne nous documente que fort peu sur ses habitants des vieux âges quaternaires et pas du tout sur ceux du Tertiaire.

Les couches du Pléistocène inférieur (époques paléolithiques pré-chelléenne et chelléenne) ont conservé quelques restes incomplets de deux races humaines : celle de Piltdown et celle de Heidelberg.

Au Pléistocène moyen, la race de Néanderthal, aux caractères encore arriérés, est dominante.

Ensuite, beaucoup plus près de nous, les races évoluées de l'âge du renne : celle de Cro-Magnon, celle de Brünn, celle de Combe-Capelle, celle de Chancelade, celle de Grimaldi, représentent l'*homo sapiens* du Paléolithique supérieur.

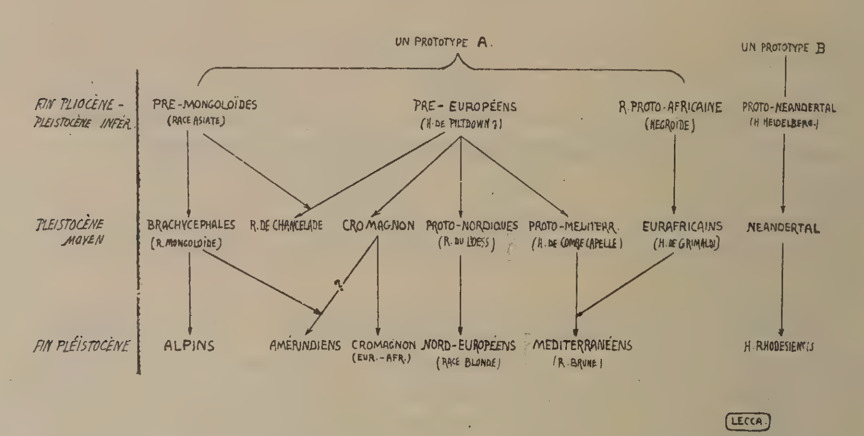
Vers la fin de cette dernière époque paraissent enfin les Brachycéphales venus d'Asie et les Dolichocéphales nordiques, suivis dans les couches intermédiaires, par les Dolicho méditerranéens.

Ces types avec leurs variétés, et d'autres que nous ignorons encore, sont les Européens d'autrefois, donc nos lointains ancêtres, en partie du moins, et en une succession qu'il ne nous est permis d'évaluer qu'avec une grande approximation. Il y a parmi eux des hommes venus d'Asie et d'Afrique, qui se sont mêlés aux races plus anciennes en Eurasie et ont modifié leur type. Il y en a qui ont disparu depuis longtemps.

Dans la profondeur des âges quaternaires, on entrevoit une humanité que ses restes montrent bien différente de la nôtre et dont l'évolution est d'une immense durée. Les siècles, les millénaires se pressent et la chronologie s'égare. Des races nombreuses se sont ébauchées, ont paru et ont péri. Nous ne les connaissons qu'insuffisamment. L'espèce humaine fut constamment renouvelée ; les types qui entrent dans l'ascendance de l'humanité actuelle ne sont que partiellement connus.

Nous ne pouvons pas dater le peuplement de notre continent, mais il est certain que les Hominiens s'y trouvaient vers la fin du Tertiaire-pliocène. Un demi-million d'années au moins nous séparent des commencements de notre ère quaternaire. Combien depuis la caractérisation hominienne ?

Quels étaient maintenant les rapports entre ces vieilles races et quels sont leurs représentants dans l'humanité actuelle ? Dans ce tableau schématique, j'ai tâché d'établir ces relations, ces parentés, les unes certaines, les autres probables.



La durée limitée de cette communication ne permet pas des développements critiques. Je me bornerai donc à quelques observations.

La souche des races fossiles aurignaciennes pourrait être le type de Piltdown (*Eoanthropus Dawsoni*), dont le front présageait au seuil des temps pléistocènes, le type *Homo sapiens* de plus tard.

L'homme de Piltdown est contemporain des pré-Néanderthal (Homme de Heidelberg) : leurs prédécesseurs ont dû vivre à la fin du Tertiaire sur les terres européennes dont la configuration était alors, comme nous le savons, fort différente de celle de nos jours.

Entre le crâne de Piltdown et celui de Néanderthal, il existe d'importantes différences morphologiques, ce qui fait que leur attache au tronc commun des Hominiens remonte nécessairement au Tertiaire, en pleine série Pliocène. On peut les considérer comme deux sous-espèces, deux grands types, de l'espèce humaine.

L'homme de Heidelberg, celui de Néanderthal (avec la variété plus ancienne de Ehringsdorf) et celui de Broken Hill, forment une continuité du Tertiaire à l'époque actuelle.

La race de Cro-Magnon, qui a laissé des traces dans la population de nos jours, a dû occuper l'Afrique Nord-Occidentale vers le début du Pléistocène supérieur. Cette race est, croyons-nous, la souche des races amérindiennes-nord (expansion directe par les terres atlantiques subsistant encore au Pléistocène). La présence des caractères mongoloïdes parmi ces dernières, est due naturellement à une pénétration asiatique postérieure par le nord-ouest (Alaska).

Il y a certainement une parenté entre les types de Cro-Magnon, celui de Brünn, celui de Combe-Capelle et l'existence de leur souche commune en Eurasie ne nous semble pas douteuse.

La race paléolithique de Brünn-Predmost (ou Homme du Loess) que nous pouvons nommer mieux, avec Haddon, « proto-nordique », est la première phase de la race nord-européenne. Son aire de développement et d'expansion devrait être placée dans l'Europe centrale (Pologne, Silésie, Bohême), région qui correspond au berceau de la race du Nord au Néolithique et aux temps proto-historiques.

L'homme de Combe-Capelle, qui présente des caractères éthiopiques, semble être l'ancêtre des Méditerranéens, ou de la race brune méridionale. (Certaines affinités existent entre ce type moustérien-aurignacien de Combe-Capelle et l'Homme de Piltdown).

L'influence de l'Aurignacien de Grimaldi est probable : en ce cas, les Méditerranéens seraient le produit d'un métissage. L'homme de Grimaldi, négroïde, tire sans doute son origine d'un fond africain apparenté aux races de l'Afrique méridionale et pénètre en Europe par un reste des ponts qui reliaient les deux continents.

Les races asiatiques ont été caractérisées par la brachycéphalie depuis une époque très reculée. L'infiltration des brachycéphales en Europe a commencé au Pléistocène moyen ; vers la fin de cet âge, on les trouve disséminés un peu partout. Ce groupe humain sera représenté plus tard sur notre sol par la race dite Alpine, par les brachycéphales du sud-est, et aussi par des proto-finnois.

La race fossile de Chancelade, des chasseurs de renne magdaléniens, paraît se rattacher au groupe blanc Cro-Magnon, mais en métissage avec des mongoloïdes. Les Eskimo actuels sont leurs descendants. La dolichocéphalie très accentuée des Eskimo, alliée à leur facies mongoloïde, s'explique ainsi parfaitement.

En lignes générales : — un groupe racial vieil-eurasiate issu probablement de l'Homme de Piltdown ; — une race du groupe eurafricain (préméditerranéen), — et un groupe mongoloïde, — concourent durant les dernières époques paléolithiques à la formation des races fondamentales de notre monde européen.

Il nous semble hors de doute que la séparation des grands groupes raciaux : négroïde, mongoloïde et blanc ou proto-européen, s'est opérée au Pliocène. Ramener leur différenciation au Quaternaire serait rajeunir singulièrement l'âge de l'humanité.

En Afrique méridionale, l'homme de Springbok (ou Bushveld) celui de Boskop (prototype probable des Bantou) les deux du vieux Pléistocène, et celui néanderthaloïde de Broken Hill, du moyen, représentent trois races fossiles auxquelles se rattache une partie de la population négroïde. La première race est peut-être le type proto-éthiopien et se trouvait étendue sur une grande partie de l'Afrique orientale. Nous ne les connaissons pas, mais il existe certainement des rapports (la souche commune) entre cette race de Springbok et nos négroïdes aurignaciens.

L'Asie, plus avare, ne nous a encore révélé que l'archaïque *Sinanthropus* de Pékin, qui, pour le moment, demeure isolé sur l'arbre racial de l'humanité [1] . C'est bien peu pour cet immense réservoir d'humanité berceau de notre espèce.

La découverte dans l'avenir de types ou de races inconnues, prototypes ou intermédiaires, permettra des déductions plus précises sur la filiation des races humaines.

---

(1) Les fossiles trouvés dans les grandes îles : le crâne de Wajdak (Java), peut-être du type proto-australien, comme celui de Talgaï (Queensland), appartiennent à des types humains dont l'évolution fut localisée dans ces lointaines contrées.

CRÂNES NÉOLITHIQUES DE SPIENNES DU TYPE CRO-MAGNON

par Charles FRAIPONT,

Professeur à l'Université de Liége.

Mon collègue et ami le baron de Loë m'a confié l'étude anthropologique des crânes néolithiques de Spiennes dont il vous a fait connaître les conditions de gisement et les circonstances de la découverte. Il s'agit :

1° D'un crâne masculin presque complet avec la face sans mandibule, N° 3 (2644) ;

2° D'un crâne nettement féminin très élargi aux bosses pariétales avec tendance à la trigonocéphalie auquel manque la face, la mandibule et la base du crâne, N° 3 (2644) ;

3° D'un crâne masculin incomplet également marqué : Spiennes Fd Stevens;

4° D'un crâne masculin incomplet, Spiennes N° 5 (2644) ;

5° D'une mandibule isolée en bon état vraisemblablement féminine, Spiennes N° 6 (2644).

Presque tous les crânes néolithiques découverts jusqu'à présent en Belgique appartiennent au type de Furfooz qui est sous-brachycéphale métissé. Julien Fraipont a établi que ce type était celui de l'abri Sandron, de la grotte du docteur, des sépultures néolithiques d'Engis et de la Préale (Lincé). C'est aussi celui de 29 crânes sur 58 des grottes d'Hastière, de plusieurs crânes d'Arrouy, de ceux de Strépy, d'Obourg, de plusieurs crânes de Meudon, de Cumières, de Nogent-les-Vierges, de Borreby, etc.

Dans beaucoup de sépultures, ce type est associé à des dolychocéphales purs et à des brachycéphales purs. Le type brachycéphale pur (race de Grenelle) a été trouvé au trou Rosette, à Sclaigneaux et sur cinq crânes des grottes d'Hastière ; j'ai décrit un crâne féminin provenant des Fouilles à Sainte-Gertrude de nos amis Hamal-Nandrin et Servais présentant ce type accentué que j'ai pu rapprocher des Azyliens brachycéphales d'Offnet avec quelques traces laponoïdes.

Julien Fraipont a découvert au Trou du Diable dans la vallée de la Méhaigne un crâne très dolycho-platycéphale qui, à certains égards, est comparable au fameux crâne d'Engis de Schmerling que Hamy rapportait au type Cro-Magnon. Enfin Houzé considérait comme appartenant au type pur de Cro-Magnon, de l'Homme mort, de Baumes-Chaudes le crâne de Falmignoul N° 1, de Sclaigneaux N° 4, crânes malheureusement aussi in-

complets que le crâne d'Engis et que celui du Trou du Diable. On a depuis reconnu que loin d'être le type commun du paléolithique supérieur le type Cro-Magnon implique la disharmonie produite par un crâne allongé et une face large et courte, la microsémie, les orbites rectangulaires ; Chancellade par exemple appartient à une race très différente de Cro-Magnon et les dolychocéphales néolithiques sont très loin de descendre tous comme on le supposa d'ancêtres Cro-Magnons.

L'un des crânes de Spiennes dont nous nous occupons est suffisamment bien conservé pour nous permettre de pousser très loin la comparaison avec les Cro-Magnons quaternaires et de conclure à leur survivance pendant le néolithique en Belgique sous une forme presque pure.

La description ci-après du crâne masculin N° 3 qui, dans leurs parties conservées, convient aux autres fragments découverts à Spiennes s'appliquerait parfaitement aux Cro-Magnons quaternaires décrits par le professeur Verneau. Notre crâne est de volume remarquable, disharmonique par sa dolychocéphalie et sa face large et basse ; ce dernier caractère est cependant plus accentué encore chez les Cro-Magnon types. La disharmonie est due au développement des pommettes et des arcades zygomatiques et non des maxillaires. La courbe antéro-postérieure de la voûte s'élève d'abord presque verticalement au-dessus de la glabelle puis s'infléchit au-dessus des bosses frontales ; un court méplat de la portion postérieure des pariétaux et antérieure de l'occipital, précède un renflement accentué de cette région. La dolychocéphalie n'est pas due à une diminution du diamètre transversal. La leptorhynie est complète. Le bord inférieur des narines montre deux gouttières séparées par l'épine bien dégagée. Aucun prognathisme total mais un léger prognathisme alvéolo-sous-nasal. Volumineuses au niveau des sinus, les arcades sourcilières s'atténuent brusquement et ne montrent presque plus de proéminence dans leur portion externe. Les orbites sont microsèmes, rectangulaires, allongés transversalement, à angles arrondis. Les arcades dentaires sont paraboliques mais s'écartent davantage au niveau postérieur de la dernière molaire que plus en avant, caractère primitif qui n'existe pas chez Cro-Magnon.

La mandibule est robuste, ses branches montantes, larges, modérément inclinées. Le menton est triangulaire. Les dents présentent une usure oblique nette. Les molaires sont pentacuspidées, même la troisième qui est relativement très forte. Sur le crâne N° 3, la première molaire supérieure gauche est atteinte de carie.

Le seul point où nos crânes diffèrent légèrement du Cro-Magnon type réside dans une disharmonie atténuée et comme nous le verrons plus loin dans une *norma verticalis* en ellipse plus allongée, plus négroïde.

Les crânes de Spiennes s'éloignent au premier examen du type Chancellade et par leur microsémie et par leur face courte ; ces deux caractères suffisent à eux seuls à les éloigner des crânes francs (race nordique) inconnus sur la rive gauche du Rhin pendant le néolithique et de la race méditerranéenne. Il est regrettable que l'absence totale des os longs nous

empêche de pousser plus loin notre comparaison avec les Cro-Magnon que caractérisent encore la taille élevée et la platycnémie fréquente.

Le tableau joint à cette note confronte nos mensurations avec celles prises sur les Cro-Magnon quaternaires, le crâne d'Engis, celui du Trou du Diable, les crânes néolithiques dolychocéphales de Sclaigneaux et de Falmignoul.

Si nous examinons la mandibule isolée, nous obtenons les mensurations ci-après :

Largeur bicondylienne, 119,8 ;
Largeur bigoniaque, 90,4 ;
Longueur de la branche montante, 61,4 ;
Largeur maxima de la branche montante, 40,2 ;
Largeur minima de la branche montante, 32 ;
Hauteur symphysienne, 27 ;
Hauteur du corps mandibulaire, 30,8 ;
Epaisseur du corps mandibulaire, 12,5 ;
Angle mandibulaire, 129° ;
Echancrure sigmoïde peu profonde.

Il s'agit vraisemblablement d'une mandibule de femme de 30 à 35 ans. Aucune de nos mesures ni l'aspect de cette machoire ne s'éloignent du type Cro-Magnon.

Toutes les mesures que nous avons prises l'ont été conformément à la convention internationale de Monaco. Aussi n'avons-nous pu dans nos comparaisons faire état de toutes les mensurations des auteurs et avons-nous été obligés, dans la mesure de l'indice facial, par exemple, de reprendre nous même des mesures prises différemment par d'autres.

Si nous cherchons à présent sur les crânes de Spiennes des caractères propres, non Cro-Magnonoïdes, nous n'apercevons ces caractères qu'en *norma verticalis* et *occipitalis*. Ces deux vues nous montrent des ellipses plus allongées ; il y a diminution de tous les diamètres transversaux sans que cette diminution suffise toutefois à produire la dolychocéphalie ; les crânes de Spiennes sont longs absolument et non seulement relativement. Ce caractère des *norma verticalis* et *occipitalis* se marque plus à la simple inspection que par des chiffres. L'occipital est ovoïde, les muscles nucaux atténués. Tout ceci nous ferait penser à des caractères négroïdes si nous nous rappelons le prognathisme alvéolo-sous-nasal bien plus net que chez Cro-Magnon, moindre que chez les négroïdes vrais mais la leptorhynie des crânes de Spiennes est toute europoïde et nous ne nous risquerons pas à établir des métissages très aléatoires.

Le gisement mésolithique breton, si bien étudié par nos collègues et amis M. et Mme Saint-Just Péquart a montré des sépultures dans des Kjokkenmoddings et parmi des foyers d'habitats ; le baron de Loë nous apporte un mode d'inhumation bien différent sans doute, puisqu'il s'agit d'inhumations au second degré mais placées aussi dans des foyers et des habitats. Les mésolithiques de Bretagne n'ont pas encore été étudiés ; ce seraient

des dolychocéphales de petite taille. Nous pensons depuis longtemps que le mésolithique français et notre Omalien sont l'œuvre des descendants autochtones des Magdaléniens. Au contraire, nous attribuons aux Campigniens le type des brachycéphales d'Offnet, aussi est-ce sans étonnement que nous avons reconnu ce type dans la femme de Sainte-Gertrude, l'industrie de cette station dérivant en droite ligne selon nous du Campignien. Cela nous a causé quelque surprise de voir des dolychocéphales du type Cro-Magnon à Spiennes dont l'industrie nous apparaît comme un perfectionnement de celle de Sainte-Gertrude sans grands apports Azyliens ou Omaliens. L'association dans l'Azilien d'Offnet de dolychocéphales et de brachycéphales nous montre, dès cette époque, l'intime association des ancêtres des types alpin et méditerranéen ; il est incontestable que dès l'aurore des temps modernes, des races très différentes coexistaient dans notre pays et il est aussi incontestable que des industries aussi étrangères l'une de l'autre que l'Omalien, proche parent du Magdalénien et de l'azylien sont contemporaines du Campignien ou presque et il nous apparaît difficile de considérer cette dernière industrie comme autochtone ; elle rappelle un moustérien frustre et nous la supposons apportée chez nous par l'invasion brachycéphale. Du brassage de cette industrie étrangère et de celle des descendants autochtones du magdalénien dériverait tout naturellement le néolithique supérieur ou robenhausien.

	Spiennes N° 3 Homme (2644)	Spiennes Fd. Stevens Homme (2644)	Spiennes N° 5 Homme (2644)	Spiennes N° 3 Femme (*trigonocéphale*)	Engis Scherling Mesures de l'auteur	Trou du Diable J. Fraipont Mesures de l'auteur *très platycéphale*	Cro-Magnon N° 1 (Verneau)	Cavillon (Verneau)	Grotte des Enfants	Musée Menton	BARMA GRANDE N° 1	BARMA GRANDE N° 2	BARMA GRANDE Jeune	Baousso da Torre	Femme cro-magnon	Femme jeune Barma grande	Sclaigneaux 4 Houzé	Falmignoul N° 1 Houzé
Diamètre antéro-postérieur maximum	200	187,5	185	183	192	201	202		198	194	211	206	177 ?		191	190	196	191
Diamètre transverse maximum	135	134,5	132	138,5	131 à 132 135 l'auteur	137	149	140 ?	151 ?	140	134 (×2)	142 ?	135		140 ?	136 (×2)	140·	140
Indice céphalique	67,5	71,7	71,4	76,2	68 à 69 71,3 l'auteur	68,1	73,76		76,26 ?	72,16	63,0 ?	71,36 ?	76,27 ?		73,29 ?	75,58	71,42	73,29
Hauteur auriculo-bregmatique	109			95 ?	98 ?	90 ?	109 l'auteur								100 ?			
Diamètre frontal minim. .	99	92,5		89,4	92		103	93 ?	103	110		112			98	101	95	97
Diamètre frontal maxim. .	119		112,1	109,8	117		126	118 ?	127			133 ?			119	113		
Diamètre bimastoïdien . ,	118,5																	
Diamètre bizygomatique ,	126,5						144		155 ?			152 (×2)	134 ?			130 ?		
Diamètre nasio-alvéolaire .	69,4						71 l'auteur											
Indice facial	54,8						49,3 l'auteur											
Hauteur du nez. . . , .	56,7						51	52 ?	51			53,25			49,5	54		
Largeur du nez.	25,6						23	26 ?	29 ?			25			25,5	25		
Indice nasal	45,1						45,9	50 ?	56.86 ?			47,17			51,51	46,29		
Largeur orbitaire	44,7/43,3						44	43	45		48	43	42	42 ?	40	42		
Hauteur orbitaire , . . .	29,8/30,5						27	28	30		29	30	31	26 ?				
Indice orbitaire.	66,6/70,4						61,36	65,11	66,67		6[illegible],42	69,77	73,81	61,90 ?	72,50	73,81		
Largeur du bord alvéolaire supérieur.	69,3																	
Hauteur ou flèche de la courbe alvéolaire . .	57																	
Largeur de la voûte palatine	41,6																	
Hauteur orbito alvéolaire .	55																	
Courbe sagitale . , . . . ,	399			408	401		406											
Courbe transversale . . ,	327			312			332											

SPIENNES ET LA QUESTION ETHNOLOGIQUE

par le baron DE LOË

Dès 1860, Albert Toilliez déterminait parfaitement la nature d'atelier et l'âge néolithique de la station préhistorique de Spiennes (1) et en 1867, le creusement d'une tranchée de chemin de fer venait démontrer par la rencontre de nombreux et très anciens puits de mine que le silex mis en œuvre provenait du sous-sol de la région (2).

En 1912, 1913 et 1914, de grandes fouilles pratiquées à Spiennes par le comte Louis Cavens ont permis d'étudier méthodiquement les puits et les galeries d'extraction ainsi que les ateliers de taille (3).

En 1924, des fouilles conduites par MM. J. Hamal-Nandrin et J. Servais ont mis au jour toute une série de fonds de cabanes qui ont fourni nombre de pièces intéressantes et jusqu'alors inconnues (4).

Enfin, en 1925, de nouvelles fouilles entreprises par les Musées royaux d'Art et d'Histoire ont amené la découverte des sépultures mêmes des antiques mineurs et tailleurs de silex.

Il s'agit de sépultures de second degré représentées par quelques crânes déposés dans des fonds de cabanes.

Le fond de cabane n° 3, à coup sûr le plus intéressant, contenait deux crânes bien intentionnellement inhumés. Ceux-ci, dépourvus de leur mandibule, gisaient l'un à côté de l'autre, à la profondeur de 85 centimètres et à la partie inférieure d'un foyer de 30 centimètres d'épaisseur, recouvert d'une couche de 40 centimètres de limon mélangé de craie et d'éclats de silex résidus de la taille, et surmontée, elle-même, d'une couche de quinze centimètres de terre végétale. Ils étaient accompagnés d'objets de mobilier funéraire : deux *moitiés* de grandes lames *différentes* brisées pour obéir à un rite, une hache taillée, deux grattoirs de forme allongée et les débris de

(1) *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, **10**, 513.

(2) A. BRIART, F. CORNET et A. HOUZEAU DE LEHAIE, *Rapport sur les découvertes géologiques et archéologiques faites à Spiennes en 1867* (*Mémoires et publications de la Société des Sciences, des Arts et des Lettres du Hainaut*, 3e série, **2**, 1868). — *Sur l'âge de la pierre polie et les exploitations préhistoriques de silex dans la province de Hainaut* (*Compte rendu du Congrès international d'Anthropologie et d'Archéologie préhistoriques*, 6e session, Bruxelles, 1872, 279-299 et 29 et 30).

(3) Baron DE LOË, *Notice sur les fouilles exécutées à Spiennes en 1912, 1913 et 1914* (*Bulletin de la Société d'Anthropologie de Bruxelles*, **40**, 151-171 (1925).

(4) J. HAMAL-NANDRIN et J. SERVAIS, *Emplacements d'habitations et d'ateliers néolithiques à Spiennes. — Compte rendu de fouilles* (*Bulletin de la Société Préhistorique française*, séance du 26 février 1925).

deux vases en terre cuite. Il s'y trouvait aussi des ossements d'animaux domestiques (restes de repas) et un noyau de corne de grand bœuf, peut-être l'*urus*.

Un autre fond de cabane a fourni un crâne sans mandibule, avec mobilier pauvre.

Un troisième fond contenait un crâne privé lui aussi de sa mandibule et accompagné de nombreux fragments céramiques appartenant à plusieurs vases.

Un quatrième fond n'a restitué qu'une mandibule.

A notre demande et avec cette amabilité qui, chez lui, est de tradition, le professeur Charles Fraipont a bien voulu étudier nos quelques crânes de Spiennes et c'est le résultat de cette étude que lui-même va nous faire connaître.

Sous-Section : Folklore

Président : M. A. Marinus.
Secrétaire : M. J. Gessler.

Lundi 30 juin, séance du matin.

Communications :

M. A. Marinus : *L'observation directe dans le folklore.* — Discussion : MM. Minnaert, Dekeyser, Gessler, Marinus.

M. P. Minnaert : *Un programme néo-folkloriste.* — Discussion : MM. Marinus, Gessler et Minnaert.

M. Fl. Mortier : *L'objet et la définition du folklore.* — Discussion : MM. Minnaert, Mortier, Marinus et Gessler.

M. J. Gessler : *L'exactitude scientifique dans les références bibliographiques.* — Discussion : MM. Minnaert, Marinus et Gessler.
Le manuscrit de ce travail n'a pas été déposé.

Lundi 30 juin, séance de l'après-midi.

Communications :

M. Gueuning : *Le folklore et les folkloristes du Luxembourg.*
En l'absence de son auteur, M. Marinus donne lecture de ce travail.
Discussion : MM. Mortier, Gessler, Marinus, Minnaert et Dekeyser.

L'OBSERVATION DIRECTE DANS LE FOLKLORE

par M. Albert MARINUS,

Directeur du Service de Recherches historiques et folkloriques du Brabant.

Les hommes de la préhistoire ou les primitifs contemporains, quand se produit une éclipse, y voient une catastrophe extraordinaire ; tandis que l'astronome y voit un phénomène naturel qu'il explique aisément, bien plus, un phénomène qu'il peut prédire à une seconde près.

Le primitif, comme le savant, donnent chacun du même phénomène une explication conforme à leurs conceptions mentales, à l'état de leurs connaissances, chacune de ces explications étant logique dans la mesure où il est possible à celui qui l'émet d'être logique.

Entre les deux états de connaissance viennent se placer toutes les observations successives qui ont fait passer l'homme d'une perception inexplicable et mystérieuse à une vérité précise, démontrable mathématiquement et prévisible.

Au fur et à mesure que se perfectionne la logique humaine et les méthodes de recherches scientifiques, le champ d'observation des hommes s'étend, le domaine scientifique s'élargit et des phénomènes nouveaux, jusqu'alors inaperçus, apparaissent. Les sciences nouvelles se créent.

Sans doute, ces sciences nouvelles bénéficient de l'effort antérieurement fait dans des sciences déjà plus précises, et ne renouvellent plus les mêmes erreurs dans les procédés de recherche et dans les explications données des phénomènes nouveaux étudiés ; mais les chercheurs n'en commettent pas moins des fautes, ils tâtonnent avant de trouver une doctrine scientifique complète permettant d'embrasser le domaine nouveau d'une façon suffisamment systématique et méthodique. Ils éprouvent de la peine à délimiter le champ à défricher, à définir la nature des faits, à adopter une méthode adéquate à leur nature.

Le folklore est actuellement encore à cet état un peu amorphe. S'il y a des faits que les folkloristes sont unanimes à reconnaître comme relevant de leur discipline scientifique, il est de nombreux faits que les uns rejettent et que les autres adoptent. Si dans la description d'un même fait, il est des détails que les uns considèrent comme capitaux, les autres ne leur attribuent qu'une importance secondaire ou nulle. Tandis que dans la plupart des sections de ce congrès, il est dans chaque spécialité scientifique un ensemble de principes fondamentaux qui ne sont plus discutés par les savants, et servent de base à tous les travaux ; tandis qu'il est dans chacune de ces

sciences un système de vérités établies, de lois démontrables et vérifiables expérimentalement, dans cette section nous assistons à la naissance d'une science, il n'y a ni loi, ni définition, ni méthodes définitives ; il y a à peu près autant de conceptions qu'il y a de personnes, et notre tâche en embrassant l'œuvre de défrichement accomplie pendant un siècle, sera d'essayer de dégager certaines directives générales, dont auront sans doute à s'inspirer les travailleurs dans la suite. Kant disait que le premier aspect d'une science est un fouillis de phénomènes (*Gewühl der Erscheinungen*) une rhapsodie de perceptions (*Rhapsodie der Wahrnehmungen*).

Constater l'existence de ces phénomènes, les percevoir, constitue déjà incontestablement un progrès scientifique. Trouver entre ces faits, un lien, un rapport, dégager quelques caractères qui leur soient communs, est une seconde étape à franchir; c'est le commencement d'une systématisation, ce que les Allemands appellent *Denkmittel*, et William James « un instrument au service de la pensée ». Peu importe, si cette conception est démontrée fausse par la suite. La conception fausse que se fait le primitif d'une éclipse s'est améliorée insensiblement au point d'être devenue une connaissance précise, incorporée par la science exacte. Il en sera de même des conceptions actuelles des folkloristes s'ils s'inspirent pour leurs recherches de ce qui s'est passé dans l'évolution des sciences dites exactes.

Depuis un siècle on s'est habitué à considérer les phénomènes folkloriques comme des survivances du passé, des résidus de conceptions scientifiques ou sociales périmées, comme des traditions sur le point de disparaître. Cette idée est tellement ancrée que nous lisons constamment dans les travaux des folkloristes de vibrants appels afin que l'on se hâte d'étudier ces faits.

Partant de ce point de vue, ces faits ont presque toujours été étudiés par rapport au passé, historiquement. On s'est efforcé de retrouver dans le passé les états successifs permettant de les exprimer et de remonter à leur origine. Travail livresque, exclusivement documentaire. La cause initiale des phénomènes a été recherchée exclusivement dans des temps plus ou moins reculés.

Ceux mêmes qui ont observé les faits dans le présent, sur place, et les ont décrits, avaient à l'esprit, à priori, cette conception exclusivement historique.

Nous ne l'excluons pas et affirmons son utilité ; mais une analyse plus attentive des faits nous a convaincu qu'ils ne sont pas exclusivement des survivances. Si les hommes qui sont sujets dans ces faits accomplissent les actes qu'ils accomplissent, c'est qu'ils correspondent encore à des activités psychiques, à des états de connaissance, à des conceptions mentales qu'ils ont des phénomènes naturels. Ces actes qu'ils posent, répondent, de leur point de vue, à des utilités, à des besoins, sinon ils disparaîtraient de suite. Si les actes sont encore accomplis, ils ne sont donc pas des survivances ; ils vivent, ils appartiennent à la réalité vivante, ils font partie du complexus mental et social de l'individu et du groupe auquel il appartient.

Dès lors, le point de vue historique, s'il reste important dans l'étude des faits, n'est plus exclusif; il devient même secondaire et c'est le point de vue psycho-sociologique qui devient prédominant et le folklore cesse de relever de l'histoire ou de l'archéologie, mais plutôt de l'anthropologie, disons même de la psychologie collective, de la sociologie. Dès lors, l'étude livresque des faits n'est plus qu'un adjuvant; l'observation directe sur place devient la méthode prédominante. Les phénomènes cessent de devoir être étudiés en fonction du passé, cessent d'être utiles seulement pour expliquer le passé de l'homme ; mais ils deviennent utiles et même indispensables pour expliquer le présent, pour comprendre le mécanisme de notre vie sociale actuelle. Nous dirons même que les phénomènes sociaux ne pourront être expliqués si on laisse en dehors du champ d'observation tout ce faisceau de faits, d'actes humains, déterminés par des activités mentales des individus.

Il faut donc, dans le folklore, avant tout, étudier les faits en eux-mêmes, tels qu'ils sont, tels que nous les voyons, tout comme nous étudions dans leur milieu vivant respectif les usages des primitifs contemporains ; tels que nous sentons la nécessité de les observer, de les analyser psychologiquement et sociologiquement pour comprendre le mécanisme de la vie sociale de ces peuplades. Il n'y a absolument aucune différence spécifique entre les uns et les autres, seul l'orgueil du civilisé l'empêche de les assimiler. Nous sommes même persuadés que la comparaison entre ces faits facilitera beaucoup mieux l'explication causale — qui est tout de même la raison d'être de la science — que l'étude des faits historiquement, dans le passé dont nous ne saurons jamais reconstituer suffisamment l'atmosphère mentale. Ces considérations mettent en valeur l'utilité de l'observation directe des faits dans la réalité vivante en se plaçant, non plus au point de vue historique, mais au point de vue psycho-sociologique. Nous devons bien constater que depuis que l'on fait du folklore cette méthode n'a pas été appliquée avec la fréquence, ni avec la précision qu'il faudrait. Les folkloristes se sont souvent attachés à utiliser de seconde main, par le dépouillement de livres, journaux ou revues, des observations faites par des chercheurs occasionnels peu préparés, et ne pouvant par conséquent pas analyser les faits avec assez de précision, de méthode, afin d'en extraire tout ce qu'ils peuvent donner d'utile pour la recherche de la causalité.

Les folkloristes se sont trop souvent attachés à dresser exclusivement des répertoires aussi complets que possible de faits dans un domaine déterminé : imagerie, sobriquets, chansons, contes, etc. ; sans chercher à pousser plutôt à fond l'analyse complète et précise de quelques faits, qui eut, pensons-nous, permis à cette science de devenir beaucoup plus exacte ; qui lui eut aussi donné plus de crédit dans le monde scientifique.

Il ne suffit pas en science de noter des faits, de les décrire succinctement et de les répertorier. Il faut les analyser sous tous leurs aspects, les disséquer. Ce travail d'analyse en profondeur, mais dans la réalité vivante et non dans de vieilles archives, acheminera beaucoup plus sûrement la

connaissance vers la découverte du rapport commun et constant liant tous les faits, prélude indispensable à l'élaboration de toute loi.

Les folkloristes doivent s'inspirer de ce qui s'est passé et de ce qui se passe dans toutes les sciences exactes. Ils doivent avoir la volonté d'acheminer leur science vers la rigoureuse exactitude scientifique, non pas d'après ce que nos ancêtres ou même nos contemporains ont pu dire dans les livres, mais avant tout d'après ce que l'observation directe sur place et l'analyse en profondeur leur indique.

Dans aucune science le progrès ne se fait par le livre. Le livre enregistre les états successifs de la connaissance et la chaîne des hypothèses vérifiées ou non ; mais toute précision plus grande apportée à notre savoir se trouve par l'observation directe des faits. L'astronome observe le ciel, perfectionne ses instruments, rectifie ses calculs ; le physicien, le chimiste, le biologiste travaillent dans leurs laboratoires, expérimentent, observent des réactions ; le psychologue lui-même s'efforce par l'emploi d'appareils ou de tests d'améliorer ses méthodes d'observation directe. C'est par elle seulement que se perfectionne la connaissance.

Sans doute le chercheur consigne par écrit ses observations, sollicite ainsi le contrôle de ses collègues, les invite à investiguer dans le même sens ; mais toujours par l'observation directe.

C'est dans cette voie que nous voudrions aiguiller à l'avenir les recherches folkloriques.

Les difficultés ne doivent pas nous rebuter. Le fait seul que nous introduisons un point de vue nouveau heurte les conceptions reçues et remet tout en question. Il faut partir sans avoir de moyens d'investigation bien précis, sans avoir d'antécédents à imiter. Il faut créer, et l'homme recule d'instinct quand il doit s'aventurer, désarmé sur une terre inconnue. Il recule surtout s'il a déjà pris d'autres habitudes d'investigation. Aussi est-ce surtout à ceux qui veulent, à l'avenir, se consacrer au folklore que nous nous adressons. Les moyens de procéder ne peuvent être donnés à priori : l'expérience les indiquera et les précisera.

Une autre difficulté très importante. L'observateur n'appartiendra généralement pas au même milieu social que les sujets observés, d'où, de la part de ceux-ci : méfiance, réticence, mensonge, explication fausse, incompréhension des buts de l'enquête, parfois même hostilité violente. Il faudra recourir à des observateurs intermédiaires qui ne seront pas toujours bien stylés, et qu'il faudra former. Ces obstacles seront rebutants et les folkloristes étant trop souvent habitués à faire du travail de cabinet reculeront au seul énoncé de ces difficultés. Tous les hommes de science ont eu à surmonter des obstacles de ce genre. Ils les ont surmontés quand ils ont eu le courage de les affronter.

Nous voudrions que d'une réunion comme celle-ci sortit la décision que tous ceux qui aiment le folklore et en sentent l'importance scientifique se concertent afin d'entreprendre une enquête en commun, coordonnée et méthodique ; qu'ils dressassent un plan de travail, choisissent un certain

nombre de faits qu'ils analyseront à fond, dont ils recommenceront plusieurs fois s'il le faut, l'analyse. Chaque observation corrigerait la précédente et indiquerait les points à préciser davantage.

Comme les primitifs — n'en rougissons pas — nous commencerons sans doute par faire des analogies grossières, celles qui frappent en tout premier lieu les sens ; puis nous nous acheminerons vers les analogies profondes, comme celle qui, en physique par exemple, rapprochera la lumière de la chaleur rayonnante ; les analogies que les sens ne perçoivent pas mais que l'intelligence devine. Toutes les grandes découvertes ont été précédées de pressentiments purement intellectuels, inspirés consciemment ou inconsciemment par l'observation directe des faits.

Est-ce que de Pythagore à Copernic, des astronomes n'eurent pas l'intuition que la terre était ronde et isolée dans l'espace ? Il a fallu des siècles pour qu'ils arrivent à pouvoir le démontrer et quand ils purent le démontrer, ils n'osèrent pas le faire. La science, si elle exige de la prudence et du calcul dans les recherches, demande aussi de l'audace dans les entreprises, le courage de les tenter et la volonté ferme, parfois héroïque, de surmonter coûte que coûte, les difficultés.

Nous, folkloristes, nous avons l'intuition que les faits que nous étudions ont un potentiel très important d'utilité. Sachons nous organiser pour le dégager. Que le scepticisme et les difficultés ne nous arrêtent pas ; que la conscience que nous avons de rendre service à la science et à l'homme nous suffise.

UN PROGRAMME NEO-FOLKLORISTE

par Paul MINNAERT

M. Marinus, à diverses reprises, a employé le terme de néo-folklorisme pour désigner la tendance de quelques collaborateurs du *Folklore Brabançon*. Peut-être cette appellation a-t-elle quelque chose d'un peu fanfaron, mais j'applaudis à l'audace de celui qui l'a adoptée parce que, somme toute, il était utile de caractériser une orientation, surtout vu les controverses qu'elle a suscitées. Si elle a eu du succès dans certains milieux, elle a soulevé de vives critiques, de l'hostilité, peut-être incompréhensive, chez d'autres savants dont les travaux méritent, à notre sens, le plus grand respect et, malgré tout, nous croyons n'avoir fait que suivre la voie qu'ils nous ont préparée.

Le Folklore Brabançon, depuis plusieurs années a été le centre de fermentation de la tendance nouvelle et je pense qu'à ce titre celle-ci peut être l'objet d'un exposé dans ce congrès d'histoire des sciences.

Que cherchent les néo-folkloristes ? Qu'est-ce qui les distingue des autres ? Peu de chose après tout et cependant ce peu de chose a de l'importance, comme j'espère vous le montrer. De même que les anciens folkloristes, ils recueillent les faits, ils cherchent à en établir l'historique et, comme ceux qui se sont aventurés avant eux dans le folklore comparé, ils se servent des données ethnographiques ; comme leurs prédécesseurs ils sont convaincus que le présent est fonction du passé et que c'est le passé qui a formé l'âme des peuples, par qui elle prit ses caractéristiques, tant extérieures que psychologiques.

Comme d'autres écrivains sur la matière, ils résolvent les données folkloriques en leurs éléments composants, en leurs thèmes, et tentent de reconstituer l'évolution et les combinaisons de ceux-ci.

Jusque-là, à quelques exceptions près, tout le monde est d'accord. Certains, cependant, négligent et critiquent la méthode comparée, d'autres, et non des moindres, trouvent que toute classification et toute théorie est prématurée et inutile.

Les néo-folkloristes sont allés au delà. Pour les caractériser d'un mot, ils veulent *comprendre* et *expliquer*.

Le moindre fait folklorique, dès le premier abord, nous étonne par son illogisme apparent. Ce n'est pas la raison, et moins encore la logique qui règne dans la science du XX[e] siècle, qui l'a formé. Il y a donc en l'homme d'autres logiques. Nous cherchons à les dégager, à découvrir leur rôle et leurs règles. C'est qu'en fait, la logique que la science utilise et nous

enseigne comme *une*, est et fut, au contraire, extrêmement variable : logique de l'homme inculte, logique du sauvage, logique de l'enfant, logique du fou, logique de la rêverie et peut-être logique du rêve.

L'ethnographie comparée nous enseigne que trois genres de logique se sont superposés dans la suite des civilisations : la logique analogique ou pré-animiste, la logique animiste et la logique scientifique ou méthodique. Toutes trois ont toujours eu leur rôle, mais leur importance relative a été variable suivant les cycles culturels.

Il s'agit donc pour nous de les étudier, de voir quelle sont leurs lois, de chercher les caractères des milieux sociaux où elles prédominent. Et pour cela nous analysons ces milieux, car nous sommes convaincus qu'une civilisation est un ensemble ordonné dont les éléments divers agissent les uns sur les autres et font du tout une unité cohérente. C'est la condition d'existence première d'un milieu social.

L'humanité a traversé divers stades culturels qui, sans être identiques pour les diverses races, offrent cependant des similitudes très grandes sous tous les rapports et notamment au point de vue de l'importance relative des modes logiques, donnant ainsi des constructions similaires et facilitant les transmissions intellectuelles.

Notre but est non seulement de collectionner et de classer ces productions étrangères d'une logique spéciale mais de comprendre celle-ci dans son ensemble, de connaître ses modes d'association des idées et de dégager ses lois de transmission et de transformation. C'est que nous étudions non seulement l'histoire, mais l'évolution.

Lorsque nous travaillerons les jeux des enfants, leurs usages sociaux, leurs créations spontanées, nous ferons de la psychologie infantile, considérant que ce que nous avons sous les yeux est de la psychologie concrète, que ce sont les faits réels et précis illustrant ce que la psychologie scientifique nous enseigne au sujet de la mentalité infantile. Nous verrons ce que les enfants ont repris des adultes et à quelle époque ils l'ont fait, comment ils l'ont adapté à leur esprit et à leurs relations sociales.

Si nous recueillons les contes comiques nous chercherons d'abord une conception psychologique du comique et nous verrons comment les textes que nous recueillerons établissent la variation de l'esprit comique suivant les époques, les milieux sociaux, en un mot, comment cet esprit s'adapte à la psychologie générale du milieu dont il est une des expressions les plus caractéristiques.

Dans la suite des transmissions, les données folkloriques changent de sens. Un ancien fait religieux auquel on accordait une foi collective et quasi absolue perd de sa valeur et devient par exemple un récit de nourrice, en subissant, bien entendu, des adaptations profondes. Pour nous le degré de croyance que l'on accorde à un dire est d'ordre important parce qu'il caractérise la psychologie du milieu où il vit et se transmet. Nous nous intéresserons aussi au rôle que jouent les idées ou les thèmes populaires dans la formation des religions définies et leurs mythes. Nous chercherons

à établir les modifications concrètes et abstraites que subit une image folklorique en vieillissant dans un même groupement ethnique ou en passant à des civilisations d'une nature plus ou moins évoluée ou à des races différentes.

*
* *

Le canevas de tout travail folklorique complet serait donc le schéma évolutif d'un thème, d'un concept ou d'un usage.

La première mise en œuvre est la recherche historique locale, c'est-à-dire que l'on remontera aussi loin que possible dans l'évolution du phénomène et que l'on tentera de recueillir la suite des états successifs en notant les variations historiques.

La méthode comparée nous viendra ensuite en aide ; d'autres régions apparentées ethnologiquement ont leurs variantes qui, souvent, ont conservé des fragments plus ou moins déformés d'un état plus ancien. On les classera suivant leurs caractères psychologiques en essayant de découvrir parmi eux ceux qui sont les plus anciens et les plus répandus.

Nous chercherons ensuite les parallèles chez les peuples les plus éloignés et les moins évolués et ceci nous donnera quelquefois des indications sur la préhistoire mentale, ce fond éternellement humain, et sur l'expression qu'elle a donnée à des concepts semblables à ceux qui nous occupent.

On cherchera ensuite l'explication psychologique et sociale en se basant sur les caractères de la mentalité régnante de l'époque et de la race, sur ses coutumes, sa morale et ses croyances.

Nous pouvons trouver vivantes, parmi nous, les psychologies des diverses époques et des divers milieux, autour de nous, nous pouvons découvrir les procédés de création et d'adaptation, les conditions matérielles et psychologiques qui les régissent et, par analogie, c'est-à-dire par une transposition appropriée, nous pourrons en appliquer les résultats à l'étude des créations primitives.

Un fait folklorique qui aura été soumis à ces diverses études, aura reçu un traitement vraiment scientifique et sera expliqué dans son évolution.

Certes, ceci n'est qu'un idéal, un schéma tout théorique et nous savons parfaitement qu'une réalisation intégrale en est pratiquement quasi impossible. Trop d'anneaux manquent à la chaîne et force nous sera de les remplacer par des conceptions hypothétiques pour arriver à la continuité des phénomènes, mais n'en est-il pas de même pour toutes les sciences qui appliquent la méthode évolutive ? Pour le moment, tout au moins, nous devons nous borner à des fresques largement brossées sur quelques points de repère bien établis, quitte à retoucher et à préciser par la suite.

L'OBJET ET LA DÉFINITION DU FOLKLORE

par M. Fl. MORTIER.

Cette connaissance « a sans cesse besoin d'être défendue ; attaques des philosophes qui nient sa légitimité, impertinence des opinions et des avis dont dépend quelquefois son avenir, indifférence des pouvoirs publics auxquels il appartient de lui garantir ses moyens d'action et de lui en fournir de nouveaux, tous viennent en dernière analyse de ce que la plupart des gens instruits, même les savants, même les biologistes, même quelquefois ceux qui travaillent à ses progrès ignorent ce qu'elle est et par conséquent ne peuvent se rendre compte du rôle qu'elle a « à jouer dans le développement général ».

Dans l'espèce, ces paroles du professeur Antony de Paris (*Bulletin d'anthropologie*, déc. 1927) s'appliquent à l'anthropologie.

Qui de nous ne croirait qu'il s'agit du Folklore? Le meilleur moyen de défendre le Folklore est de le faire connaître et de diriger cette étude dans les voies scientifiques. Il semble que certains folkloristes ont trop peu d'ambition, d'autres en ont manifesté trop et paraissent avoir pris les rêves pour des réalités.

La science est un ensemble de conclusions certaines, un système de vérités très bien enchaînées. C'est la connaissance des choses par leurs causes. Des phénomèmes et des autres effets l'esprit humain remonte naturellement à leurs principes, puis il revient à ces effets et à ces phénomènes pour en donner une explication complète. Commencée par l'analyse la science s'achève par la synthèse.

La Science en général comprend toutes les idées organisées et toutes les vérités acquises : chaque science particulière comprend un système de vérités sur un objet déterminé.

Il suffit d'avoir rappelé ces notions élémentaires connues de tous pour convenir que le Folklore ne peut encore prétendre au titre de science au moins dans le sens strict du mot.

Aussi le folklore est une science d'avenir.

Le Folklore a débuté par l'étude des antiquités populaires : les traditions. Nous en convenons aisément. Cette étude n'a point commencé ni à notre époque ni en nos pays. On cite avec raison le grec Pausanias comme un précurseur des Folkloristes en Europe : sa description de la Grèce étant une véritable enquête de Folklore.

Le *T'ai-ping-koang-ki* est un vaste recueil de légendes et de Folklore chinois compulsé sous la dynastie des Song en 981 sous la direction de Lifang, un haut fonctionnaire, mort en 995.

Cependant bien avant lui, en ce même pays, le fonctionnaire Jing-chao écrivit entre l'an 130-140 son *Young-su-t'oung*, traité des superstitions. Si au deuxième siècle de notre ère, l'historien et géographe grec Pausanias s'était contenté d'enregistrer les dires des gens de la localité, le chinois Jing-chao avait exercé sa critique et recherché le point de départ des légendes.

Les folkloristes ont étendu le champ de leurs investigations dans deux directions. Déjà en 1887 la revue *Tradition* se proposa, lors de sa fondation, de ne point restreindre ses recherches à certains pays, à une certaine classe, à certains objets, à certaines idées. Vers l'humanité convergent les travaux folkloriques et rien d'humain ne doit être négligé.

D'autre part le Folklore a cessé de n'être qu'une enquête sur le passé ou du moins sur les us et coutumes ayant leur racine dans le passé. On a compris que les légendes, les coutumes et les réjouissances populaires naissent à toutes les époques. Négliger l'étude du présent serait se priver d'un élément scientifique d'autant plus instructif qu'il est vivant. Au surplus cet élément a l'avantage généralement d'être placé à proximité de l'observation personnelle du folkloriste. C'est en effet un point digne de remarque que l'interprétation des faits, des coutumes, dont l'origine est reculée loin dans le passé ou en des régions fort distantes, est sujette à bien des méprises et à des errements.

Le folklore est la connaissance de la raison d'être des dires et gestes populaires : il constitue une branche de l'anthropologie.

De nombreuses définitions du folklore furent données et si nous en ajoutons une c'est que, à notre connaissance, aucune n'a précisé suffisamment son caractère nécessairement scientifique ni l'étendue du champ de cette connaissance.

On connaît l'importance de la définition dans l'étude des sciences. Le Folklore doit progresser en allant d'une définition imparfaite ou imparfaitement comprise à une définition qui ne laisse rien à désirer.

Nous avons en premier lieu les définitions imparfaites, provisoires, qui sont de simples indications n'engageant en rien la doctrine. Nommons d'abord les définitions de mots ou nominales. Elles consistent à définir le mot plutôt que la chose dont il s'agit. Elles traduisent le vocabulaire d'une langue dans une autre ou bien expliquent un même mot par les synonymes. Appliquant cela au folklore, mot anglais, on peut dire que le mot « folk » signifie peuple et « lore » doctrine, enseignement, « Volksleer » en flamand, « Volkskunde » en allemand. Comme le fait observer Van Gennep, les Français et les Italiens ont montré quelque répugnance et ont proposé d'abord « Traditions populaires » et « Tradizioni popolari »: mot qu'ils ont abandonné eux-mêmes après avoir expérimenté que l'expression ne donnait pas ce qu'on voulait signifier. Les Portugais et Espagnols ont accepté dès l'abord le mot anglais. Chez eux, aucun mot ne s'était imposé.

Ensuite nous avons eu nombre de définitions conventionnelles ou arbitraires, c'est le deuxième stade. Pour expliquer la chose, les auteurs ont choisi les caractères les plus saillants. Dans les livres et articles de

folklore nous en rencontrons une variété assez considérable. Il serait probablement inexact de dire que les auteurs eux-mêmes les ont regardées comme définitives. Ces définitions reflètent souvent le stade d'évolution ou de progrès où en était alors l'étude folklorique.

Donnons quelques exemples : étude de tout ce qui se rapporte à la croyance, arts, sciences populaires. Etude de la tradition populaire envisagée historiquement et comparativement. L'ensemble des traditions, poèmes, légendes populaires d'un peuple. L'ensemble des anecdotes supranaturelles imaginaires sans teinte doctrinale.

Semblables définitions sont indispensables dans les sciences et les arts à mesure qu'ils progressent et s'appliquent à des objets nouveaux. Vient ensuite la définition scientifique celle qui indique l'objet de l'étude tout en énonçant son caractère scientifique.

Cette définition doit convenir à la chose qu'elle définit et à elle seule. Elle doit énoncer son objet et lui seul.

Parti de l'étude des légendes et coutumes du passé, ou du moins ayant leurs racines dans le passé, le folklore s'est rendu compte qu'il ne peut négliger les anecdotes, les coutumes, fêtes, réjouissances qu'il voit naître. Tout cela trouve son point de départ, sinon sa raison d'être dans les conditions nouvelles de la vie créées à la suite des inventions modernes. Le peuple y trouve des moyens d'expression de ses sentiments et passions. C'est pourquoi le caractère traditionnel n'étant plus dans le folklore ni prédominant ni exclusif, je crois que sa définition ne doit plus l'exprimer.

Parti de l'étude de la classe paysanne ou plébéienne le folklore a poussé ses investigations dans toutes les classes de la société. L'étude de toutes les classes dans leurs us et coutumes est d'autant plus intéressante que le nivellement social progressif dont nous sommes les témoins rendra dans l'avenir plus difficile la recherche de la mentalité et l'esprit de classe. Il est indispensable de disposer d'un mot exprimant le point de vue spécial et formel de l'étude folklorique. Si des divergences d'opinion se sont élevées jamais parmi les folkloristes elles ont porté sur l'étendue du champ d'investigation et sur l'évolution plus ou moins rapide qu'il fallait donner à cette étude mais jamais sur l'objet formel des recherches. Ce fut là toujours le lien indissoluble qui a uni les chercheurs. On s'appliquait à l'étude des choses populaires. Ce mot reçut bientôt son sens particulier : ce n'étaient pas les choses paysannes seules ou plébéiennes ; non, on recherchait les coutumes indépendantes de l'initiative de l'autorité, sinon dans leur origine, du moins dans leur conservation. C'étaient des particularités qui, dans toutes les classes, dans tous les groupements, se maintenaient en marge des dispositions réglementaires ou légales.

Etymologiquement, le mot populaire ne dit point cela, mais conventionnellement il est compris dans ce sens par tous les folkloristes. Il apparaît même comme le seul mot capable d'exprimer l'idée adéquatement. C'est pourquoi il importe de le maintenir. D'ailleurs pareil exemple d'extension de sens n'est pas unique. Est-il nécessaire d'attendre la connaissance des lois qui régissent les éléments folkloriques avant de donner au

folklore sa définition scientifique ? Assurément non. L'architecte peut tracer le plan avant de construire l'édifice. Le plan guide la direction du travail, la définition de l'étude est un guide pour ceux qui s'y adonnent. Les lois à rechercher se réduisent au surplus à deux catégories : celles qui répondent aux questions : de quoi la chose est-elle faite et comment la chose est-elle faite ?

Voilà autant d'éléments qui sont indiqués dans notre définition ; le folklore est la connaissance de la raison d'être des dires et gestes populaires.

Cette définition qui se rencontre à la dernière étape, l'étape de perfectionnement, ne détruit point l'autre qu'on trouve dans les dictionnaires et qui indique non pas une étude mais une collection d'objets. Elle s'énonce comme suit : le folklore est l'ensemble des traditions, poèmes, légendes populaires d'un peuple. Mais ici, ce folklore diffère autant de l'autre que la bibliothèque elle-même est distincte du savant.

Dans le classement des sciences, le folklore a trouvé aisément sa place parmi les sciences anthropologiques dont il constitue avec l'ethnographie et l'ethnologie une des branches culturelles. Celles-ci se distinguent des branches scientifiques, anthropologiques proprement dites, comme l'anatomie et l'anthropologie physiologique.

LE FOLKLORE ET LES FOLKLORISTES DANS LA PROVINCE DE LUXEMBOURG

par M. L. GUEUNING,

Professeur à l'Athénée d'Arlon.

On ne trouvera pas ici le répertoire chronologique et critique complet des auteurs qui ont écrit sur le folklore de la province de Luxembourg. J'ai voulu sommairement marquer les grandes étapes de l'évolution des études folkloriques dans cette province et, tout spécialement, des idées touchant la conception : 1° de l'objet propre du folklore ; 2° de son utilité scientifique ; 3° de ses méthodes.

*
* *

Je ne me soucie ici que de la province, au sens politique du mot, malgré ce que le procédé peut avoir d'arbitraire, lorsqu'il s'agit de folklore, où les faits s'expliquent par courants et par zones ; lorsqu'il s'agit surtout de la province de Luxembourg, qui appartient à deux bassins bien distincts, comportant deux régions nettement différenciées, ethniquement et linguistiquement.

La question du *terminus a quo* quant au temps étant plus arbitraire encore, je me bornerai à parler des hommes et des œuvres, à partir du moment où tout ce que couvre le mot *folklore* suscite un quelconque intérêt avec, sinon toujours une parfaite conscience de son objet propre, de son utilité, des méthodes nécessaires, comme un pressentiment au moins de cette utilité.

Il est bien entendu encore, qu'en ce qui nous concerne, nous envisageons le domaine du folklore aussi largement que possible : toute la mentalité populaire.

Enfin, nous écartons de cet exposé les recueils, les ouvrages, même belges, qui contiennent l'un ou l'autre point de folklore luxembourgeois tels le *Folklore wallon* d'Eug. Monseur ou les *Mélanges de traditionnisme de la Belgique* de Harou, pour nous en tenir au mouvement créé dans la province.

*
* *

Lorsqu'on étudie la production qui précède les années 1924-1925, on éprouve la plus grande peine à dégager quelques données ou caractéristiques générales. Nous allons tenter de le faire, en signalant au passage

les œuvres qui nous paraissent revêtir quelque importance, non par leur valeur intrinsèque, mais comme étape dans l'évolution.

Il faut noter d'abord qu'avant cette date, aucune idée générale n'a présidé à la recherche : on ne s'est jamais demandé ce qu'était le folklore, s'il présentait un autre intérêt que celui d'égayer un livre ou, mettant les choses au mieux, de contenir des lueurs d'histoire ; jamais on ne s'est livré à une enquête systématique, dans le but de constituer un recueil général des coutumes, au sens large du mot, ou même des recueils partiels mais au moins complets, dans les limites du possible, de légendes, de pratiques, de recettes, etc...

Il n'existait point de revue spécialement consacrée au folklore. Sans doute, les *Annales de l'Institut archéologique du Luxembourg*, qui paraissent depuis 1847, contiennent quelques courtes études ; elles font triste figure parmi les études d'histoire et d'archéologie. Quant à la *Vie Arlonaise*, strictement locale, elle n'a paru que deux années (1912-1914) et ne contient que peu de choses de valeur. La « politique de village » fournit aux journaux un aliment complet. C'est ce qui explique que, pendant la guerre seulement, le *Luxembourg* ait publié pas mal de petits articles sur le folklore régional, sans qu'on puisse trouver là d'ailleurs rien de fort utile.

Quant aux ouvrages proprement dits, la plupart de ceux qui sont consacrés vraiment au folklore sont les « légendaires » ; parmi les meilleurs, ceux de L. Banneux, d'où toute préoccupation de « littérature » n'a pas disparu ; le *Wintergrün* de N. Warker où se mêlent aux histoires luxembourgeoises des traductions ou des adaptations de légendes étrangères. Le reste est contenu dans des ouvrages d'histoire : *La Lorraine belge* de L. Verhulst, chiche de vrai folklore ; les monographies locales de Jacob-Duchesne sur le *Vieil Arlon* ; de J.-B. Weyrich sur Thiaumont, de Neijen sur Bastogne, etc. etc., ou encore dans des ouvrages de fantaisie, informés de trente-sixième main : notes de voyage ou d'excursion qu'il fallait agrémenter à tout prix : *Le guide du voyageur en Ardenne* de J. Pimpurniaux, *Les Ardennes* de Joly, etc.

Je ne cite que pour mettre en garde contre elles les nombreuses « *Chroniques* » de l'Ardenne, de l'abbaye d'Orval et autres du plus que suspect Jeantin.

Sans doute, tout cela peut-il servir, mais après un travail de critique impitoyable, car il serait désastreux de bâtir là-dessus, sans une revision sévère, quoi que ce soit. Au reste, voici comment on pourrait caractériser cette production. Sans doute avec toutes les injustices que comporte pareil schéma : 1° matière recueillie au hasard des circonstances, sans démarches systématiques ni méthode ; 2° absence totale de critique, du souci de contrôler le détail découvert ou reçu ; 3° souci d'embellir, d'agrémenter, de « corser » les *curiosa* auxquels on borne son observation ; 4° absence quasi totale de conscience quant à l'importance de la matière recueillie ; 5° rapports, descriptions sans la moindre précision, laissant « tomber » de multiples détails qui, d'apparence secondaire, présentent souvent un intérêt majeur pour le folkloriste.

Toutefois, malgré de graves défauts, il faut mettre à part trois œuvres dont les auteurs font réellement figure de précurseurs.

Les Communes luxembourgeoises de Tandel, parues de 1889 à 1894, dans les *Annales de l'Institut archéologique* (t. 21 à 28) ont recueilli, amassé pour chaque commune, selon un questionnaire, de nombreux documents d'inégale valeur concernant la vie, les mœurs, les coutumes, les dictons, les spots et sobriquets, et qu'il n'est pas trop tard de soumettre à un nouvel examen. C'est une compilation pratique, qui peut rendre de réels services, qui a, en son temps, stimulé la recherche, empêché bien des souvenirs de disparaître, mais dont il faut se méfier extrêmement.

Les *Mœurs luxembourgeoises* de J. Guillain (Mons, 1887) attestent un certain souci de l'information exacte, mais contiennent, dans leur maigre quarantaine de pages, peu de chose au delà du détail « pittoresque », seul recherché par l'auteur.

Quant au livre du Dr Delogne, *L'Ardenne méridionale belge* (Bruxelles, 1914), il lui manque peu pour être absolument bon : son auteur sait ce qu'est le folklore, il en apprécie à sa juste valeur l'importance, il a le souci constant de l'information directe et fidèlement reproduite, avec sa couleur propre ; l'esprit critique ne lui fait pas défaut, enfin, il s'intéresse à toutes les manifestations, jusqu'aux plus humbles, du folklore. Il est regrettable que son ouvrage soit gâté par le désordre de sa présentation et surtout, par ces hypothèses hasardeuses, ces rapprochements pour le moins dangereux avec les Grecs, la Bible et le Talmud, qui déparent tant d'ouvrages sur la matière, des plus modestes aux inquiétants monuments de J. Frazer.

Je n'oublie point le *Lexique du patois gaumet* de Liégeois et Feller, qui contient beaucoup de renseignements puisés aux meilleures sources, mais en fonction du patois de la région.

Enfin, il serait injuste de ne pas signaler qu'il y a quelques années, le Dr Famenne, de Florenville, avait installé un petit musée de la vie ardennaise, détruit par la guerre et qu'à Saint-Hubert s'est formé, voici quelque temps, un *Comité de folklore ardennais* dont on parle peu, jusqu'à présent.

*
* *

C'est en 1924 que l'*Institut archéologique*, réorganisé en même temps que le Musée d'Arlon, songea au folklore avec le souci de créer un mouvement systématique de recherches s'inspirant d'une conception saine du folklore et de son importance scientifique. Il ne fallait bannir aucune des manifestations de la vie populaire tant individuelle que sociale, ni de l'esprit populaire, qu'il s'exprime par les mots de la langue, dans la littérature, les conceptions scientifiques, les techniques, les arts ou la vie.

Pour aborder un point de la méthode et des principes à la fois, les membres de l'Institut qui s'intéressent au folklore et tentent de créer un mouvement sont intimement persuadés que si, comme toute science, le folklore vise à dégager, de la masse des faits les lois nécessaires, pour-

tant, tout le travail préparatoire de la recherche des faits — découverte des nouveaux, examen critique de ceux qui ont été décrits — est loin d'être achevé et qu'il faut commencer par observer et bien décrire en évitant les hypothèses prématurées et les rapprochements délicats avec le folklore des autres pays et des autres races.

Voici, pour finir, ce que, depuis 1924, le jeune mouvement a réalisé ; ce qu'il voudrait réaliser maintenant.

Tout d'abord, il fallait se faire entendre, attirer l'attention, provoquer la recherche et donner aux chercheurs le moyen et le plaisir de publier le résultat de leurs recherches ; c'est ainsi que fut décidée, par l'Institut archéologique, au cours de son assemblée générale de septembre 1924, la création d'une section de folklore, d'un *Bulletin trimestriel*, plus spécialement consacré au folklore et d'un musée de la vie populaire. Dès son premier numéro (janvier 1925) le *Bulletin* publiait un questionnaire complet ; dans son numéro 2 (avril 1925), une bibliographie qui n'avait certes pas la prétention d'être absolument à jour, mais désirait seulement orienter le chercheur. Le même *Bulletin* n'a publié jusqu'ici, faute de collaborateurs, que peu de folklore.

Au cours de la même assemblée, pour « lancer » l'affaire, le bourgmestre d'Arlon proposait d'organiser une Exposition de la vie populaire luxembourgeoise, dont le succès d'ailleurs n'eut pas de lendemain. C'est depuis lors, pourtant, que plusieurs... coins du Musée archéologique sont consacrés à des reconstitutions : une cuisine, une *stouf* (belle chambre ou poêle), une chambre à coucher de type régional.

Dans l'hiver 1927, l'Institut essaya de créer des cours hebdomadaires d'histoire régionale, parmi lesquels le folklore tenait sa place. Ces conférences n'eurent pas le moindre succès.

Enfin, au Musée même, on rassemble sur fiches tous les renseignements que livrent des enquêtes, forcément limitées et qui seront publiés quelque jour : il existe ainsi un centre de recherches organisé auquel ne manque... que la vie !

Et précisément, il ne serait sans doute pas impossible de la lui donner, grâce à certaines réformes que j'indique ici, parce qu'elles peuvent intéresser d'autres sociétés de province :

1° Il faudrait grouper, au sein d'une section de folklore *effective*, tous les membres de l'Institut que ce genre de recherches attire ;

2° Provoquer, à côté des assemblées générales, des réunions fréquentes de la section, de vraies séances de travail ;

3° Rendre ces réunions attrayantes et fructueuses en mettant à l'étude, chaque année, une question à étudier en commun : il se créerait ainsi un noyau bien formé de chercheurs ;

4° Publier dans un *Bulletin*, réservé au folklore, les études plus courtes, les faits recueillis, des nouvelles diverses, des questionnaires ;

5° Publier dans une *Collection* de monographies, les études de longue haleine ;

6° Enfin, créer un musée convenable et qui ne soit pas nécessairement une annexe pauvre du musée archéologique.

11e Section : Sciences Médicales

Président : M. le Professeur Nolf (Liége).

Vice-présidents : M. le Professeur de Béco (Liége) ; M. le Professeur Lemaire (Louvain) ; M. le Professeur de Beule (Gand) ; M. le Professeur R. Verhoogen (Bruxelles).

Secrétaire : M. le Dr B. Dujardin (Bruxelles).

Secrétaires régionaux : M. le Dr Lambin (Louvain) ; M. le Dr Albert (Liége) ; M. le Dr De Rom (Gand) ; M. le Dr Van Dooren (Bruxelles).

Lundi 30 juin à 9 h. 30.

Sous-section de chirurgie.

M. F. Neuman : *Contribution au traitement des ulcères gastriques et duodénaux.*

M. L. Delrez : *Les troubles physiopathiques posttraumatiques.*

M. Sebrechts : *Quelques faits observés au cours de l'anesthésie rachidienne.*

MM. Albert, Coheur et Kirsch : *L'oscillométrie en chirurgie.*

M. Breyre : *Le bilan des radiations dans le domaine oto-rhino-laryngologique.*

Mardi 1er juillet, à 9 h. 30.

Sous-section de chirurgie.

MM. Delchef et Cornet : *Les acquisitions récentes dans le traitement des tuberculoses articulaires.*

Cette communication n'est pas parvenue au secrétaire général.

MM. Parisel et Lorthioir : *L'emploi des butées osseuses dans le traitement des paralysies infantiles.*

M. E. Moons : *Réduction sous-cutanée de fracture avec déplacement de la tête humérale.*

M. Lahaye : *Influence de la rupture artificielle de la poche des eaux sur la marche de l'accouchement.*

Cette communication n'est pas parvenue au secrétaire général.

Sous-section de neurologie et de clinique médicale.

Président : M. NOLF.

M. DE STELLA : *Syndrome de Deiters par lésion isolée et primitive des noyaux vestibulaires.*

M. LEMAIRE : *Les réflexes viscéro-moteurs somatiques en clinique.*

M. D'HOLLANDER : *Les lésions cérébrales dans la démence précoce.*

M. P. GOVAERTS : *Considérations sur la physio-pathologie et la classification des néphropathies chroniques.*
Discussion : M. Nolf.

M. A. LEY : *L'alexie d'évolution.*

M. P. VAN PÉE : *Le radiodiagnostic précoce de la tuberculose pulmonaire.*

M. LAMBIN : *Observations sur le traitement de l'anémie pernicieuse par l'opothérapie hépatique et gastrique.*

MERCREDI 2 JUILLET, À 9 HEURES.

Séance commune aux *sous-sections de médecine vétérinaire, pathologie, cancérologie* et *anatomie pathologique.*

Président : M. LEMAIRE.

MM. F. LIÉGEOIS et A. LEFÈVRE : *Considérations physico-chimiques sur le rachitisme animal.*

M. A. DUSTIN : *Le cancer et les grands mécanismes régulateurs de la division cellulaire.*

M. J. LAHAYE : *Contribution à l'étude comparative des diverses varioles animales.*

M. J. MAISIN : *La susceptibilité au cancer du goudron.*

MM. A. BESSEMANS, R. WILLEMS et FR. DE POTTER : *L'effet curatif du choc anaphylactique sur les manifestations syphilitiques.*

M. N. GOORMAGHTIGH : *Contribution à l'anatomie pathologique de l'hypertension artérielle.*

M. CH. DUPREZ : *La réactivation de la réaction de Bordet-Gengou dans la tuberculose.*

M. E. VANDEPUT : *L'activité sécrétoire de la thyroïde est-elle dépendante de nerfs sécréteurs ?*

M. P. GUNS : *A propos de la pathogénie de l'ozène.*

CONTRIBUTION AU TRAITEMENT DES ULCÈRES GASTRIQUES ET DUODÉNAUX

par le Dr F. NEUMAN

Professeur à l'Université de Bruxelles

La pathogénie des ulcères gastriques et duodénaux étant toujours aussi obscure qu'il y a trente ans, le traitement de la maladie de Cruveilhier est resté purement symptomatique. La science, qui doit nous débarrasser un jour de la médecine et de la chirurgie, comme le proclamait J.-L. Faure, ne nous a pas encore montré la voie sûre qui mène au traitement rationnel de cette redoutable maladie.

La collaboration médico-chirurgicale a cependant recueilli un grand nombre d'observations qui ont permis d'établir quelques notions thérapeutiques basées exclusivement sur des faits cliniques et expérimentaux.

Il n'y a pas longtemps encore, les chirurgiens qui préconisaient la résection partielle de l'estomac ulcéreux, pensaient qu'il fallait supprimer le plus possible de muqueuse à sécrétion acide, l'hyperacidité étant pour eux le facteur pathogénique essentiel de l'ulcus. En réalité, ils ignoraient complètement la topographie sécrétoire de l'estomac, car il est bien démontré aujourd'hui, notamment par les travaux de Leriche, de ses élèves et de Deloyers, que les parties que l'on excise dans la résection classique de l'estomac, à savoir : le pylore, l'antre et la petite courbure, sont précisément les zones de sécrétion alcaline, les glandes à sécrétion chlorhydrique étant exclusivement réparties au niveau du fundus et de part et d'autre de la grande courbure.

D'autre part, les expériences récentes de Weiss (Strasbourg) ont montré que l'exclusion du duodénum, c'est-à-dire la dérivation totale des sécrétions duodénales : bile, suc pancréatique et suc duodénal, soumettant ainsi le jejunum à l'action permanente du chyme acide sans aucune possibilité de neutralisation, détermine chez le chien, l'apparition dans ce jejunum d'ulcérations chroniques comparables à celles que l'on rencontre chez l'homme.

Est-ce à dire que l'ulcus chronique reconnaît comme cause essentielle et unique la corrosion de la paroi par un suc gastrique à teneur chlorhydrique élevée? Ce serait là une conclusion téméraire et par trop simpliste. En réalité, le facteur primordial qui déclanche le processus ulcéreux creusant la paroi gastrique jusqu'à la perforer, nous échappe complètement.

Mais, ce que permettent de constater l'observation clinique, les résultats éloignés des interventions chirurgicales et ce que confirment la connaissance plus parfaite de la topographie sécrétoire de l'estomac et les expériences récentes de Weiss, c'est que *les zones gastro-duodénales revêtues de muqueuse à sécrétion alcaline : duodénum, pylore, antre et petite courbure, sont ulcéro-sensibles*, tandis que *les zones de muqueuse à sécrétion acide, fundus et grande courbure, sont ulcéro-résistantes.*

Par conséquent, il apparaît que la résection antro-pyloro-duodénale, en supprimant la partie ulcéro-sensible de l'estomac et du duodénum, est logique et parfaitement justifiée dans un grand nombre de cas et répond aux notions acquises tout récemment par Weiss et par Leriche.

Je dis dans un certain nombre de cas, parce qu'il n'est pas douteux que beaucoup d'ulcères gastriques et duodénaux guérissent sans intervention chirurgicale et que d'autres cèdent à une simple gastro-entérostomie.

J'ai cherché à dégager de mon expérience personnelle l'indication de ces divers traitements et c'est ce que je voudrais vous communiquer aujourd'hui.

Tout d'abord, j'estime que les ulcères gastro-duodénaux doivent être soumis au traitement médical pendant un temps plus ou moins prolongé.

La durée du traitement médical est évidemment difficile à déterminer : une période de trois mois me paraît nécessaire et suffisante, si au bout de ce temps une amélioration notable ne s'est pas produite.

Viennent ensuite les interventions chirurgicales ; elles sont de trois espèces :

1° La dérivation pure et simple, c'est-à-dire la gastro-entérostomie ;

2° La gastro-entérostomie associée à l'excision ou à la cautérisation ignée de l'ulcère ;

3° La résection en bloc des parties ulcéro-sensibles : pylore, antre, et petite courbure, c'est-à-dire la *pyloro-gastrectomie* avec rétablissement de la continuité gastro-intestinale par les méthodes habituelles de Péan, Polya-Finstérer, ou en Y.

Quelles sont, dans l'état actuel de nos connaissances et de notre expérience, les indications de ces différentes méthodes?

I. — *Gastro-entérostomie*

La gastro-entérostomie trouve ses indications dans un grand nombre d'ulcères du duodénum, à la condition qu'ils ne s'accompagnent ni de *stase*, ni d'*hypersécrétion*, ni d'*hyperacidité.*

De ces trois symptômes, la stase et l'hypersécrétion sont à mon avis les plus importantes. Quant à l'hyperacidité, elle est extrêmement variable et sur vingt cas d'ulcère du duodénum, dont nous avons pu retrouver l'analyse du suc gastrique, six fois la quantité d'HCL était inférieure à 1 gr., ce qui nous permet de dire que, dans 30 % des cas, l'ulcère duodénal ne s'accompagne pas d'hyperacidité.

Le fait est plus frappant encore dans les ulcères gastriques, ulcères du

pylore et ulcères de la petite courbure : 36,5 % d'acidité normale dans les ulcères du pylore et 57 % dans les ulcères de la petite courbure.

La gastro-entérostomie trouve encore une indication, mais, à mon avis, d'exception : dans les ulcères calleux du pylore ou de la petite courbure ou dans certains ulcères hémorragiques, lorsque l'état précaire du malade commande l'intervention la plus rapide, la plus simple et la moins choquante.

Il convient cependant de faire remarquer que la gastro-entérostomie n'est pas une opération aussi bénigne que d'aucuns le prétendent et que, dans un grand nombre de statistiques, sa mortalité est très près de celle de la résection.

Pamperl et Schwarz, en 1928, sur 397 cas de gastro-entérostomie, enregistrent 10 % de mortalité immédiate, et sur 240 résections, également 10 %.

Nos chiffres sont du même ordre : 55 gastro-entérostomies, en y comprenant les G. E. avec exclusion du pylore ou excision de l'ulcère, ont donné 6 morts, soit 10,9 % de mortalité et 66 résections (8 morts), 12,1 % de mortalité.

C'est donc une erreur de croire que la gastro-entérostomie est une opération de grande bénignité, comparée à la résection ou, ce qui revient au même, que la résection, dans des mains exercées, est beaucoup plus grave que la gastro-entérostomie

Ce n'est pas là l'argument qui doit faire préférer systématiquement la gastro-entérostomie à la résection ; l'une et l'autre ont leurs indications précises

II. — *Gastro-entérostomie et excision ou cautérisation de l'ulcère* (Balfour)

La gastro-entérostomie accompagnée d'excision ou de cautérisation ignée de l'ulcère rencontre les mêmes indications que la G. E. pure et simple ; elle peut s'appliquer également à certains petits ulcères de la petite courbure, ulcères non calleux, non pénétrants.

Tous les autres ulcères gastriques, du pylore, de l'antre, de la petite courbure, à type chronique, calleux ou pénétrant dans le foie ou le pancréas, sont justiciables de la pylore-gastrotectomie.

III. — *Pyloro-gastrotectomie*

La résection en bloc du pylore, de l'antre et d'une partie plus ou moins étendue de la petite courbure suivant les nécessités, est la seule intervention qui, jusqu'à présent, réponde aux indications de stase et d'hypersécrétion, tout en supprimant radicalement les parties ulcéreuses et ulcéro-sensibles de l'estomac.

En réséquant largement l'ulcère, la pyloro-gastrotectomie met également à l'abri de la cancérisation secondaire.

On a beaucoup exagéré les risques de cancérisation secondaire des

ulcères chroniques de l'estomac : nous en avons opéré 7 sur 68 cas, soit 10,2 % se répartissant comme suit :

Ulcères du pylore :	38 Cas	C. second. :	4 Cas, soit 10,5 %
Ulcères de la petite courbure :	30 Cas	C. second. :	3 Cas, soit 10 %

Ce chiffre est celui cité par Kontjetzny ; il est quelque peu inférieur à ceux qu'ont donné Moynihan et Pauchet (18 %) ; il s'écarte considérablement des statistiques de Wilson et de Mac Carty : 71 %, de W. Mayo : 64 %, de Graham : 62 %, de Küttner : 43 %, de Kelling : 30 % de Pierre Duval, donnant en dernière analyse 25,5 %.

Nous sommes aussi éloignés d'Henri Hartmann, pour qui la cancérisation secondaire ne s'observerait que dans 2 à 4 % des cas.

Des écarts aussi importants ne peuvent s'expliquer que par l'interprétation différente de la genèse de ces ulcéro-cancers, certains auteurs reportant dans la catégorie « cancer » primitif une série de cas, qui, pour d'autres, ne sont que des *ulcères* cancérisés secondairement.

Ulcères peptiques

Nous avons observé 7 cas d'ulcères chroniques secondaires, que l'on est jusqu'à présent habitué de désigner sous le nom *d'ulcère peptique.*

Ces ulcères, que l'on observe parfois après la gastro-entérostomie, et plus rarement après la résection, ne sont en réalité que des *ulcères récidivés*, en tout semblables à l'ulcus qui avait motivé la première intervention. Ils peuvent s'observer alors même que le premier ulcère est guéri, sous l'influence de causes qui nous échappent, les mêmes qui avaient causé l'accident primitif et que l'intervention de gastro-entérostomie ou de résection n'avaient pas complètement écartées.

Ces *ulcères récidivés* se sont présentés dans les conditions suivantes :

4 après gastro-entérostomie simple :
2 cas après un an,
1 cas après deux ans,
1 cas après quatre ans, avec fistulisation dans le colon transverse.
3 après résection :
1 après Polya-Finsterer, *au fil de lin,*
1 après résection en gouttière de la petite coubure et G. E., *au fil de lin*, au bout de 3 ans,
1 après Bilroth II, *au fil de soie*, après dix-huit mois.

De ces 7 cas opérés secondairement de résection large, en y comprenant l'anastomose préexistante, 4 ont guéri ; 3 sont morts (1 de bronchopneumonie et 2 de choc, dont celui compliqué des fistule gastro-colique).

Je me permets de faire remarquer que dans les trois cas d'ulcères secondaires, après pyloro-gastrectomie, cette dernière avait été exécutée au moyen de fils non résorbables.

Nous avons ainsi, dans ces trois dernières années, en y comprenant une année de recul, opéré 121 cas d'ulcères gastriques et duodénaux se répartissant comme suit :

Duodénum :	51 cas	Décès :	10
Pylore :	38 cas	Décès :	5 (2 de C. secondaire)
Petite courbure :	30 cas	Décès :	7 (2 de C. secondaire)
Paroi postérieure :	2 cas	Décès :	0
Total	121 cas		22 Décès

Si nous écartons les 4 décès de cancer secondaire, il nous reste 18 décès opératoires, ce qui nous donne :

14,8 % de mortalité générale.

METHODE OPERATOIRE

	Duodénum	Pylore	Petite courbure	Paroi	Décès	Totaux
G, E.	10	4	5	—	0	19
G. E. et exclusion . . .	16	12	2	—	6	30
G. E. et excision . . .	—	—	4	2	—	6
Polya-Finsterer	17	14	14	Ulc. pept. 6	7	51
Péan.	5	3	—	—	3	8
Billroth II	2	4	2	—	1	8
Résec. en selle et G. E. .	—	—	2	—	—	2
Résec. médiogastrique .	—	—	1	—	—	1
Résec. et anast. en Y . .	1	1	—	—	—	2
Totaux	51	38	30	2	17	

En résumé,

Gastro-entérostomies avec ou sans excision de l'ulcère :

55 cas avec 6 décès, soit 10,9 % de mortalité ;

Résections :

72 cas avec 11 décès, soit 15,2 % de mortalité.

Si nous exceptons de ces résections, les 6 cas d'ulcères récidivés, dont la résection secondaire est d'une exceptionnelle gravité, nous notons 66 cas de résection avec 8 morts, soit 12,1 % de mortalité, chiffre qui n'est pas éloigné de beaucoup de celui de la G. E. pure et simple.

Complications post-opératoires

Le gros écueil de la chirurgie gastrique, et particulièrement de la résection, est la complication pulmonaire.

Il en est d'autres également, mais sur lesquels je ne m'étendrai pas, tels que l'hémorragie, la péritonite par désunion, l'occlusion intestinale secondaire par étranglement dans la brèche du méso-colon, etc.

Pour ce qui concerne les complications pulmonaires, qui occupent le premier rang (14 % pour Hartmann), elles se présentent sous les formes

de bronchite, de broncho-pneumonie, de pneumonie lobaire (rare), d'abcès pulmonaire, de gangrène, de pleurésie purulente.

On a invoqué l'action irritante des anesthésiques opposant l'anesthésie locale et splanchnique à la narcose à l'éther et au chloroforme. Nous avons utilisé ces différents modes d'anesthésie et notre expérience nous a démontré que les complications pulmonaires ne sont ni plus ni moins fréquentes lorsqu'on utilise l'anesthésie locale. Nous avons noté les pourcentages de complications pulmonaires, suivant le mode d'anesthésie et nous comptons :

36,6 % pour l'éther ;
25 % pour le balsoforme ;
23,4 % pour le chloroforme.

Nos quinze derniers cas de résection gastrique ont été opérés sous anesthésie générale au chloroforme, sans une seule complication pulmonaire. J'estime que le chloroforme manié *par un anesthésiste expérimenté* est un des meilleurs modes d'anesthésie pour la chirurgie de l'estomac.

Les complications pulmonaires post-opératoires sont sous la dépendance d'autres causes ; elles sont d'origine infectieuse, l'infection ayant son point de départ dans le foyer opératoire : ce serait *l'entéro-streptocoque de Tiercelin*, d'après Lambret.

L'infection se propagerait au poumon par deux voies :

1° les embolies microbiennes ;

2° la voie lymphatique

Dans le but de parer à ces accidents pulmonaires post-opératoires, si redoutables, nous avons utilisé dans un certain nombre de cas, la vaccination préventive, suivant la méthode de Lambret.

Lambret prépare un auto-vaccin contenant de l'entérocoque et du bacillus pylori. Préalablement, il soumet les malades à l'épreuve de l'intradermo-réaction.

Seuls sont vaccinés ceux qui ont cette réaction positive. Les injections sont pratiquées tous les deux jours, à dose croissante : 50 millions, 500 millions, 1 milliard, jusque, 2, 3, 4 milliards, dans l'espace de dix jours.

Nous nous sommes tenus à cette méthode dans la plupart des cas, avec cette différence que nous avons utilisé un stock-vaccin (entérocoque et coli tués par gel et dégel) au lieu d'auto-vaccin.

Lorsqu'il s'est agi de préparer un malade, présentant une sensibilité particulière des voies respiratoires, tels par exemple les bronchiteux chroniques, la méthode est restée la même, mais au stock-vaccin entéro-coli, nous avons substitué une émulsion contenant de l'entéro, du coli, du staphylo, du strepto et du pneumocoque.

Outre l'intradermo-réaction, nous avons recherché des tests dans la numération des globules blancs et dans la formule leucocytaire. A mes yeux, et de l'avis de mon collaborateur, le Dr. Contempre, qui a pratiqué ces vaccinations dans mon service, ce test présente une importance plus grande que l'intradermo-réaction, pour autant qu'il s'observe après examen complet du malade et élimination soigneuse de tout foyer inflam-

matoire, spécialement au niveau des dents, des gencives, des voies respiratoires supérieures, de l'urètre et du vagin, pour citer les plus fréquentes.

Dans les cas purs d'inflammation gastro-intestinale, où l'on trouve une leucocytose à polynucléaires neutrophiles nette, on constate que la vaccination suivant la méthode préconisée ramène la formule leucocytaire à la normale.

Voici les chiffres recueillis dans notre pratique personnelle :

35 opérés ont été vaccinés préventivement ;
18 ont fait des accidents pulmonaires ;
8 sont décédés.

Il en résulte donc que, malgré la vaccination préventive, 51,4 % des opérés de l'estomac font des complications pulmonaires et dans 44,4 % des cas ces complications ont été mortelles.

D'autre part,

73 opérés n'ont pas été vaccinés préventivement ;
3 seulement ont fait des complications pulmonaires mortelles.

Si nous observons plus particulièrement les opérés de résection, il nous est permis de comparer les chiffres suivants :

Parmi les 35 vaccinés, nous comptons 32 résections, et parmi les non-vaccinés 40 ; au total 72 avec 11 décès, dont 7 des suites de broncho-pneumonie ou d'abcès du poumon.

Et nous constatons donc que les 7 décès de complication pulmonaire, à la suite de résection gastrique, se sont précisément produits chez des malades vaccinés préventivement. Est-il besoin d'ajouter, que jusqu'à nouvel ordre tout au moins, nous avons abandonné la vaccination préventive?

Sans vouloir l'incriminer définitivement, je pense que nous l'avons pratiquée sans tests suffisants et que nos opérés pourraient bien avoir été sensibilisés. Depuis que nous ne vaccinons plus, nos suites opératoires ont été jusqu'à présent exemptes de complications pulmonaires mortelles.

C'est sans nul doute, la perfection de la technique, la douceur apportée dans la manipulation des organes, l'hémostase minutieuse, le soin très grand apporté aux sutures, qui sont les facteurs nous permettant d'éviter les complications pulmonaires dans la grande majorité des cas.

Ulcères duodénaux

Sur un total de 51 cas d'ulcères duodénaux, 10 ont été traités par gastro-entérostomie simple ; 16 par G E. et exclusion du pylore ; 25 cas par la pyloro-gastrectomie ; parmi ces derniers, nous notons 2 Billroth II, 5 Péan, et 17 Polya-Finsterer, plus 1 cas de résection suivi d'anastomose en Y. La mortalité totale a été de 10 cas, soit 19,4 % se répartissant comme suit :

G. E. :	0
G. E. et exclusion :	4, soit 25 %
Billroth II :	1
Péan :	3, soit 60 %
Polya-Finsterer et Y	2, soit 11,1 %

Si nous analysons ces résultats, nous voyons que les causes de mortalité les plus fréquentes ont été les complications pulmonaires : 4 cas ; les hémorragies secondaires : 3 cas ; la péritonite est exceptionnelle : 1 cas (péritonite par désunion).

Parmi les complications pulmonaires ayant entraîné la mort, nous notons 3 broncho-pneumonies et 1 abcès pulmonaire. Toutefois, un plus grand nombre de complications du côté des voies respiratoires a été observé sur le total de 51 cas d'ulcères duodénaux opérés ; en effet, outre les cas cités plus haut, 4 autres opérés ont présenté des accidents de broncho-pneumonie plus ou moins grave, ce qui porte le total des cas à 8, soit 15,6 %.

Vaccination préventive

Douze malades ont été vaccinés préventiment :

5 au vaccin polyvalent de Bruschettini ;
7 au stock-vaccin intégral de Zivy.

La vaccination a été appliquée particulièrement aux malades devant subir la résection : 7 Polya-Finsterer et 2 Péan.

Complications pulmonaires

Il est intéressant de noter que sur les 12 cas de résection pyloro-gastrique, suivie d'anastomose à la Polya, 5 malades avaient été vaccinés : 2 au Bruschettini et 3 au Zivy. Les 2 décès de cette catégorie concernaient les 2 vaccinés au Bruschettini (une broncho-pneumonie, un abcès pulmonaire) ; 2 autres avaient fait de légères complications pulmonaires sans suites fâcheuses.

Un Billroth II, non vacciné, est mort de broncho-pneumonie. Les autres méthodes ont donné également un certain nombre de broncho-pneumonies post-opératoires :

G. E.	2
G. E. et Excl.	2, dont 1 décès.

Hémorragies secondaires

Un opéré de G. E. et exclusion a fait une hémorragie secondaire mortelle, le second jour ; 2 résections, suivies de gastro-duodénostomie à la Péan, sont morts d'hémorragie secondaire par suite de désunion en un point de la suture, au niveau de la demi-circonférence postérieure.

Complications septiques

Un seul opéré est mort de péritonite : 1 Péan (nécropsie) péritonite purulente généralisée, consécutive à la désunion partielle de la suture gastro-duodénale. Cet opéré s'était levé la nuit de l'opération, pour aller boire abondamment au robinet d'eau courante de sa chambre).

A la suite des pyloro-gastrectomies pour ulcère du duodénum, que nous avons pratiquées, nous n'avons observé *aucune fistule duodénale secondaire.*

Tableaux récapitulatifs

G. E.	10 cas	Décès	0
G. E. et exclus.	16 cas	—	4 = 25 %
Billroth II	2 cas	—	1
Péan	5 cas	—	3 = 60 %
Polya-Finsterer	17 cas	—	2 = 11,1 %
Résect. + Anast. en Y . . .	1 cas		
Totaux	51 cas	Décès	10 = 19,4 %

Complications pulmonaires

	Broncho-pneumon.	Abcès pulm.	Décès	Vaccin prévent.
G. E.	2	0	0	2 Bruschettini
G. E. et exclusion . .	2	0	1	1 Bruschettini 2 Zivy
Billroth II	1	0	1	0
Péan	0	0	0	2 Zivy
Polya-Finsterer . . .	3	1	2	2 Bruschettini 3 Zivy

Complications septiques

Péritonite purulente : 1 Péan (Désunion).

Complications hemorragiques

G. E. et Exclusions :	1 Hématémèse secondaire	Décès 1
Péan :	2 Hémorragies secondaires . . . . . . par désunion	Décès 2

Résultats éloignés

Cas	Guéris	Améliorés	Récidives	Ulcères pept.	Perdus de vue
51	28	3	8	2	10

N. B. — Seuls *les G. E. et les G. E. et exclusion pylorique* ont donné les résultats incomplets du tableau : 3 améliorés, 1 récidive, 2 ulcères peptiques.

Ulcères du pylore

Tableau récapitulatif suivant le procédé opératoire

	Cas	Décès
G. E.	4	0
G. E. et exclusion	12	1 : broncho-pneumonie
Billroth II	4	0
Péan	3	0
Polya-Finsterer . . . . . Résect. et anast. en Y . . .	14 1	2 { 1 de Shok 1 de C. secondaire
Total	38	3 (en plus : 2 C. second.)

Mortalité de la résection

Nombre de cas :		Mortalité
Résection et anastomose en Y :	1 cas	
Polya-Finsterer :	14 cas	(1 décès : 7,1 %)
Billroth II :	4 cas	
Péan :	3 cas	
	22 cas	— 1 décès : *soit 4,5 %.*

Complications pulmonaires

	Broncho-pneum.	Vaccination	Décès
G. E.	0	0	0
G. E. et exclusion	1	0	1
Billroth II	0	1 Zivy	0
Péan	0	1 Zivy	0
Polya-Finsterer	3	5 Zivy 1 Bruschet	0

Résultats éloignés

Cas	Améliorés	Récidives	Ulcères peptiques	Guéris	Perdus de vue
38	3	I récid. I C. second.	0	23	10

De l'examen des tableaux qui précèdent, il résulte que sur 38 cas d'ulcères du pylore opérés, nous avons noté 5 décès, dont un de G. E. et exclusion pylorique, non vacciné, des suites de bronchopneumonie.

Deux opérés sont morts de, cancérisation secondaire, après opération de G. E. ; un de choc opératoire après résection étendue : il s'agissait d'un malade atteint d'ulcère peptique, suite de G. E., chez lequel l'exérèse avait dû comprendre en outre l'anastomose ancienne ; nous savons par expérience combien ces résections sont graves par elles-mêmes.

La mortalité de la résection est particulièrement peu élevée :

7,1 % pour le Polya-Finsterer seul.

4,5 % en y ajoutant les autres méthodes utilisées : Billroth II, Péan et Anastomose en Y.

Le nombre de cas étant peu élevé, 22 cas, il s'agit peut-être là d'une série heureuse. Quoi qu'il en soit, il paraît bien que, pour ceux qui sont familiarisés avec la technique, les insuccès doivent être moins nombreux encore dans l'avenir, à mesure que le manuel opératoire deviendra plus précis, plus rapide et plus sûr.

Dans cette série d'ulcères pyloriques, nous avons observé un cas d'ulcère double : ulcère du pylore et ulcère de la petite courbure ; un autre se compliquait d'une petite tumeur de la petite courbure, reconnue à l'analyse comme carcinome.

Ulcères de la petite courbure

Nous avons opéré 30 cas d'ulcères de la petite courbure, dont 24 guéris, 4 morts, 1 récidive, 1 ulcère peptique secondaire.

Dix-neuf malades ont été traités par la résection, 14 par le Polya-Finsterer (4 morts, soit 28,5 %), 2 par la résection en selle avec G. E., 1 par la résection médio-gastrique.

La mortalité générale de la résection a donc été de 4 sur 19 cas, soit 21 %.

Les autres méthodes opératoires utilisées ont été la G. E. : 5 cas ; la G. E. et Exclusion pylorique : 2 cas ; l'excision simple : 1 cas ; le Billroth II : 2 cas ; (dont 1 de C. secondaire).

Complications pulmonaires

Toutes les complications pulmonaires se sont présentées chez les réséqués, sauf un cas de broncho-pneumonie après G. E. Les complications de la résection se répartissent de la manière suivante :

4 broncho-pneumonies,
1 abcès pulmonaire (mort),
1 grangrène pulmonaire et pleurésie purulente (mort), soit 37 % de complications pulmonaires.

Vaccinations préventives

Seuls les malades devant subir la résection ont été vaccinés : 15 (nous y avons compris un cas d'excision suivi de G. E.) ; 11 vaccins intégral Zivy ; 2 auto-vaccins ; 2 au vaccin polyvalent de Bruschettini.

En résumé, *15 réséqués sur 19 ont subi une vaccination préventive* et 6 d'entre eux ont présenté des complications pulmonaires, dont 2 mortelles ; les 4 derniers, non vaccinés, ont eu des suites opératoires particulièrement simples, exemptes des moindres manifestations, du côté des voies respiratoires. Cela confirme ce que nous disions plus haut, à propos de l'action nocive de la vaccination, tout au moins en ce qui concerne la manière empirique dont nous l'avons utilisée.

Tableaux récapitulatifs

	Cas	Décès
G. E.	5	0
G. E. et excision.	2	0
Excision simple	2	0
Billroth II	2	0
Polya-Finsterer	14	4
Résection en selle et G. E.	2	0
Résection médio-gastr. . .	1	0
Total	30 cas	4 décès, soit : 13,3%

Complications pulmonaires

	Broncho-pneum.	Abcès pulm.	Vaccins	Décès
G. E.	1	0	0	1
G. E. et exclusion	0	0	0	0
Billroth II . . . . . . , .	0	0	0	0
Péan . , ...	0	0	0	0
Polya-Finsterer	3	1 abcès 1 gangrène	9 Zivy 2 auto 1 Brusch.	3
Excision et G. E.	1	0	1 Zivy	0
Résection médio-gastrique .	1	0	1	0

Résultats éloignés

Cas	Guéris	Améliorés	Récidives	Ulcères peptiques	Décès
30	24		1	1	4

Complications septiques

Péritonite : 1 cas (Polya-Finsterer).

LES TROUBLES PHYSIOPATHIQUES POSTTRAUMATIQUES

par L. DELREZ

Professeur à l'Université de Liége.

L'observation attentive des traumatisés des membres apprend au clinicien que le segment de membre traumatisé subit d'une manière absolument régulière des modifications importantes dont les plus apparentes sont les troubles fonctionnels, sensitifs, vasculaires, plus tardivement trophiques. Elle apprend également :

1° que les troubles sont particulièrement marqués après les lésions des os, du périoste, des tendons, des articulations, alors qu'ils restent absents ou à peine ébauchés à la suite de lésions purement cutanées ;

2° qu'ils sont indépendants de la gravité du traumatisme, débordent constamment la région blessée et s'étendent aux autres segments du membre et parfois même gagnent partiellement le membre opposé ;

3° que les troubles surviennent aussi bien à l'occasion de traumatismes ouverts que de traumatismes fermés.

Dès l'instant où la blessure est réalisée, les altérations fonctionnelles deviennent apparentes, à un degré variable avec les organes atteints : motilité volontaire, tonus musculaire, régime vasculaire sont modifiés ; ces modifications persistent un temps variable pour disparaître progressivement au fur et à mesure que s'accomplit la réparation anatomique. Dans l'immense majorité des traumatismes, la réparation fonctionnelle est totale à brève échéance. Parfois, au contraire, loin de disparaître avec la réparation anatomique, les troubles fonctionnels s'aggravent et s'étendent : la motilité volontaire diminue, l'atrophie succède à l'hypotonie, des contractures ou paralysies s'installent, le membre reste habituellement cyanosé et froid, des troubles trophiques frappent profondément tous les tissus : atrophie cutanée, squelettique, hyperhydrose, ulcérations trophiques.

Cette période tardive a été particulièrement bien étudiée par Babinski et Froment ; à ces désordres fonctionnels tardifs Babinski et Froment ont donné le nom de *troubles physiopathiques*. Il n'est pas douteux qu'ils ont leur origine primitive dans le traumatisme, et ne sont que l'aboutissant des désordres fonctionnels qui ont directement suivi ce traumatisme.

La connaissance de ces troubles physiopathiques présente une importance de premier ordre pour l'estimation à leur valeur réelle des suites des blessures; il serait particulièrement intéressant de connaître le mécanisme qui les commande.

I. — *Troubles moteurs*

A première vue la réduction, parfois l'abolition totale des mouvements volontaires s'expliqueraient aisément par la douleur qu'occasionne la mobilisation de la région traumatisée.

Cependant on observe :

1° que la limitation des mouvements frappe des territoires musculaires indépendants du traumatisme : par exemple, limitation des mouvements des doigts extrêmes alors que le pouce ou l'index est seul intéressé par le trauma ;

2° la suppression artificielle de la douleur par l'anesthésie locale n'améliore pas nécessairement et parfois pas du tout la motilité volontaire : par exemple, lors d'un traumatisme de l'articulation du poignet, l'injection peri et intra-articulaire de novocaïne n'améliore pas nécessairement les mouvements actifs de cette articulation ;

3° lors des essais de mobilisation, le blessé se trouve arrêté beaucoup moins par la douleur que par la lourdeur, l'engourdissement du membre qui n'obéit pas aux efforts ;

4° la suggestion tenace, à l'état de veille, réussit parfois, assez souvent même, à rétablir des mouvements actifs jusque là impossibles.

Ces diverses constatations engagent à admettre que les troubles de la motilité volontaire ne sont pas commandés par la douleur ; elles ne nous renseignent pas sur le mécanisme qui les produit. Les essais thérapeutiques par la suggestion laissent *l'impression* que les ordres moteurs envoyés par les centres supérieurs ne réussissent pas à gagner le neurone moteur périphérique : ce n'est là évidemment, qu'une image et non une explication.

Les désordres vasculaires frappant toute l'extrémité traumatisée paraissent bien ne pas être étrangers à la déficience motrice. Déjà BABINSKI et FROMENT avaient reconnu que ces troubles parétiques, de degré variable, étaient susceptibles d'être modifiés par le réchauffement du membre. L'observation clinique journalière permet les mêmes constatations : les troubles moteurs posttraumatiques s'accusent et s'aggravent notablement sous l'influence du froid, s'atténuent à la chaleur, parallèlement au régime vasculaire du membre ou du segment sous les mêmes influences thermiques.

Or, Bourguignon a établi que tous les troubles vaso-moteurs entraînent des altérations importantes de la chronaxie, c'est-à-dire de l'excitabilité neuro-musculaire, et ces altérations, il les retrouve toujours dans les cas de troubles nerveux d'ordre réflexe. On ne peut s'empêcher de croire que les troubles de la motilité, parésies, contractures peuvent être liées, au moins partiellement, à des altérations de la chronaxie, et par là aux désordres circulatoires engendrés par le traumatisme.

II. — *Troubles trophiques*

Cliniquement, ils consistent en une modification globale de la nutrition des tissus se traduisant par l'atrophie de la peau, disparition des plis cutanés (Glanzhaut-glossy skin) croissance exagérée des phanères, atrophie du tissu cellulaire sous-cutané, aponévrotique, décalcification des os, éventuellement œdème chronique (œdème dur posttraumatique) et ulcérations cutanées rebelles ou grangrènes locales.

L'expérience clinique a montré, à Leriche notamment, que ces troubles trophiques peuvent disparaître rapidement et même définitivement sous l'influence de la sympathectomie périartérielle.

Les théories d'interprétation de ces lésions peuvent se résumer comme suit :

1° Théorie vasomotrice (Schiff 1854) : elles sont secondaires à des altérations circulatoires périphériques.

2° Théorie des nerfs trophiques (Samuel 1860-Pawlow).

3° Théorie de l'excitation permanente (Leriche-Brüning) partie du territoire traumatisé ou malade, agissant sur les filets nerveux sympathiques ou mixtes de la région (petits névromes d'origine traumatique ou inflammatoire). L'excitation permanente représentée par ces névromes serait le point de départ d'un réflexe passant par la moelle et se réfléchissant vers la périphérie où elle détermine le spasme vasculaire et les troubles de nutrition secondaires.

A.-J. Ssoson, dans un travail expérimental très laborieux, a recherché le mécanisme qui préside à la genèse des troubles trophiques. Sur le chien, il sectionne le grand sciatique et suture le bout central dans le muscle fessier ; huit à douze jours plus tard apparaissent régulièrement des ulcérations et gangrènes à l'extrémité du membre opéré. Or, ces troubles de nutrition ne se produisent pas si, préalablement, la chaîne sympathique lombaire a été réséquée. Elles ne sont pas empêchées régulièrement si, au lieu de la chaîne sympathique, on résèque les racines antérieures ou postérieures séparément ; il en conclut que les voies suivies par le réflexe passent sûrement toutes par la chaîne sympathique, partiellement par les racines antérieures et postérieures. L'auteur a tenté de détruire sur l'animal les centres sympathiques intramédullaires. Et il conclut que les troubles trophiques sont régis par des réflexes dont le point de départ est périphérique (bout central du grand sciatique dans ses expériences) ; le réflexe passe par la chaîne sympathique lombaire, gagne les racines antérieures et probablement aussi les postérieures, puis les centres sympathiques lombaires ; le réflexe est métamérique et homolatéral ; il gagne la périphérie par les voies sympathiques. Pratiquement, au point de vue thérapeutique, Ssoson attribue la même valeur à toutes les interventions chirurgicales, qu'elles soient exécutées sur les nerfs mixtes (point de départ du réflexe) ou sur le sympathique, du moment qu'elles interrompent les voies suivies par le réflexe.

On ne peut s'empêcher de rapprocher des expériences de Ssoson celles qui ont été exécutées récemment par Stricker et Orban et dont Leriche

a publié un résumé condensé : STRICKER et ORBAN ont essayé de faire des résections massives, en un temps, des gros troncs à partir de la bifurcation aortique. Tous leurs animaux sont morts dès les premiers jours, avec les pattes glacées, œdemateuses et paralysées, sans avoir, le plus habituellement, fait la moindre tentative d'appui sur leurs membres, sans avoir pu se relever.

« L'impossibilité de la résection du carrefour aortique et de ses branches étant ainsi établie, STRICKER et ORBAN ont tenté d'en corriger les effets en faisant précéder la résection du carrefour d'une ablation de la chaîne lombaire ou d'une ramisection lombaire.

Dès leur réveil, les animaux ainsi opérés essayaient de se mettre sur leurs pattes, prenaient appui sur les pattes postérieures, puis commençaient à marcher, malaisément bien entendu, mais marchaient. Ils ne présentaient pas d'œdème. Leur train postérieur était froid, mais au bout de vingt-quatre heures, il se réchauffait et devenait bientôt plus chaud que les pattes antérieures. » Chez les animaux, conservés en vie durant des mois, les fonctions sont redevenues apparemment normales. LERICHE attribue la survie et le retour des fonctions à la ramisection préalable et à l'énorme vaso-dilatation périphérique qu'elle détermine. Tout comme les expériences de SSOSON, celles de STRICKER et ORBAN mettent en évidence le rôle prépondérant du sympathique dans la genèse des ulcérations trophiques et de gangrènes.

III. — *Troubles vaso-moteurs*

Ils sont pratiquement constants ; le désordre circulatoire régional se traduit par des modifications de la P. maxima ou de la P. minima dans l'un ou l'autre sens et surtout par une modification de l'indice oscillométrique, habituellement dans le sens de l'augmentation à la période précoce, dans le sens de la réduction à une période tardive (fig. 1).

Le mécanisme de ces modifications ne peut être étudié efficacement que par l'expérimentation sur l'animal.

Suivant le procédé proposé par Nolf pour mesurer les modifications de la circulation périphérique dans les membres, introduisons dans le bout périphérique de la fémorale d'un chien une canule reliée à un manomètre ; après peu de temps la pression sanguine dans le bout périphérique s'est assez relevée, grâce aux collatérales, pour qu'on puisse inscrire des modifications même peu importantes ; le même dispositif est réalisé à l'autre fémorale ; on inscrit simultanément la pression carotidienne. Produisons maintenant un traumatisme d'un des deux membres : piqûre de l'articulation du genou ou même simple pincement du tendon rotulien ; le traumatisme est suivi immédiatement d'une chute de la pression artérielle du côté traumatisé ; la pression artérielle du côté opposé ne se modifie pas, pas plus que la pression carotidienne.

Si on pratique la même expérience après section préalable des nerfs crural et grand sciatique, qui assurent l'innervation du genou, la chute

de pression se produit du côté traumatisé avec les mêmes caractères que dans l'expérience précédente, où les nerfs étaient intacts.

Le réflexe, si réflexe il y a, qui détermine la chute de pression, n'emprunte donc pas la voie du crural ni du grand sciatique. C'est ALBERT (de

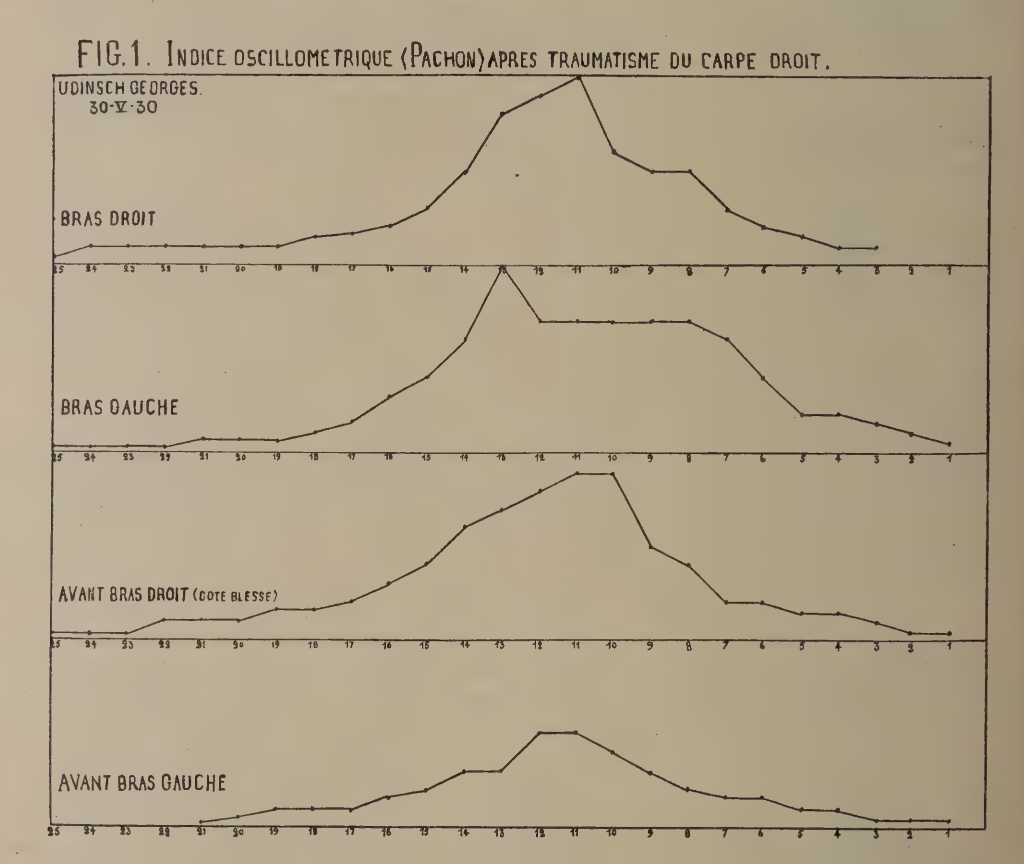


FIG. 1. INDICE OSCILLOMETRIQUE (PACHON) APRES TRAUMATISME DU CARPE DROIT.

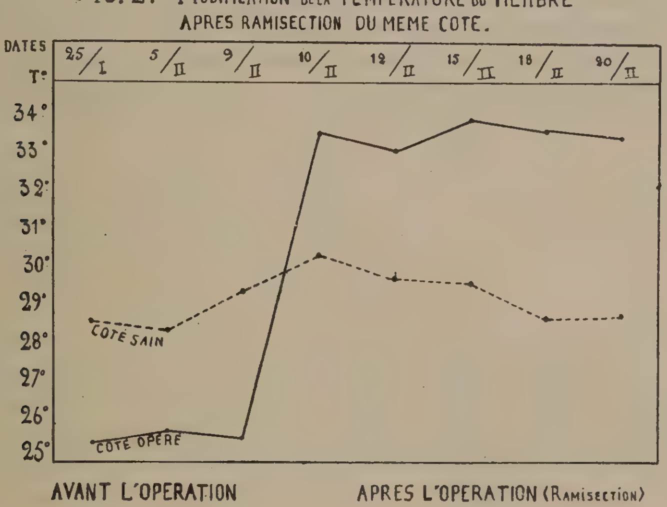
Liége) qui a le plus approfondi cette étude ; il a publié à ce sujet un travail expérimental, le plus important à l'heure actuelle sur cette question. Par le même procédé expérimental, il établit que le traumatisme produit sur le membre postérieur (généralement au niveau du genou) détermine encore la chute de pression sauguine dans le membre lésé, même quand toutes les racines nerveuses antérieures ou postérieures du même côté sont sectionnées. Il en est de même après section haute de la moelle, après hémisection et après extirpation complète de la moelle. Il est bien difficile, dès lors, d'admettre que le phénomène, chute de pression dans le membre traumatisé, soit l'expression d'un réflexe au sens habituel du mot.

Ceci étant établi, ALBERT reprend l'expérience initiale (chute de pression dans le membre traumatisé à nerfs intacts) et au lieu de sectionner les nerfs crural et sciatique, il les infiltre d'une solution de novocaïne : dans ces conditions, le phénomène « réflexe » vaso-moteur est complète-

ment interrompu ; il en est de même après injection de novocaïne dans le sac dural (équivalant à une infiltration des racines par la novocaïne). Le « réflexe » vaso-moteur que la section des nerfs périphériques, la section des racines, l'extirpation de la moelle n'empêchaient pas, se trouve interrompu par le bloquage à la novocaïne, des nerfs périphériques ou des racines médullaires. D'autre part, inversement, le phénomène vaso-moteur posttraumatique n'est nullement empêché par la rachianesthésie, si préalablement à celle-ci, les nerfs crural et sciatique ont été sectionnés. ALBERT tire de ces groupes de faits la conclusion qu'en réalité le phénomène vaso-moteur étudié est un axon-réflexe (Langley) ; s'il résiste à toutes les sections nerveuses et médullaires et est interrompu par le bloquage à la novocaïne, c'est que la novocaïne diffuse dans toute l'étendue des fibres nerveuses ; s'il persiste malgré la rachianesthésie quand les nerfs périphériques ont été sectionnés, c'est que la novocaïne n'a pu diffuser dans le bout périphérique de ces nerfs ; dans ces seuls bouts périphériques par conséquent, le pseudo réflexe peut encore s'accomplir.

Ces remarquables recherches expérimentales incitent à faire admettre que le trouble vaso-moteur posttraumatique est purement périphérique et s'accomplit entièrement en dehors de la moelle, des racines, et de la

FIG. 2. MODIFICATION DE LA TEMPERATURE DU MEMBRE APRES RAMISECTION DU MEME COTE.



chaîne sympathique ganglionnaire et que, par conséquent, toute intervention sur les voies élevées devrait rester inefficace.

S'il en est bien ainsi dans ces expériences, on ne doit pas nécessairement en inférer qu'il en est de même dans les conditions où ces troubles vasculaires se présentent chez l'homme. Qu'il suffise de citer les observations relevées par FILATOW (de Leningrad). FILATOW a étudié les variations de la température locale des membres après section des rameaux communicants cervicaux ou lombaires ; ces ramisections étaient exécutées

dans le but de combattre des paralysies spastiques du membre supérieur ou inférieur. Avant la ramisection, la température de ces membres spastiques était habituellement de plusieurs degrés plus basse que la température des membres sains : or, la ramisection détermine après deux ou trois heures, dans le membre correspondant, un relèvement très rapide et durable de la température ; elle s'élève et reste supérieure à la température du côté sain. Cette hyperthermie est l'expression d'une hyperémie durable avec vasodilatation intense consécutive à la ramisection (fig. 2).

Si le trouble vaso-moteur régional posttraumatique est essentiellement périphérique, il n'est vraisemblablement pas, dans les conditions où il survient chez l'homme, totalement indépendant de la chaîne sympathique.

Résumé et conclusion

Tout traumatisme atteignant le périoste, les os, les tendons, les articulations, entraîne régulièrement des désordres immédiats de la motilité, de la vascularisation, du trophisme, du segment de membre intéressé et souvent de tout le membre. Habituellement temporaires, ces désordres peuvent persister, s'aggraver, devenir définitifs.

Le mécanisme des troubles moteurs est mal connu.

Les désordres vasculaires et trophiques régionaux paraissent commandés essentiellement par le sympathique.

La seule action thérapeutique actuellement efficace est celle qui s'adresse au sympathique ; elle n'est pas constante ni réglée d'une manière formelle.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE :

ALBERT, Thèse de doctor. spécial, 1924. Université de Liége.

BABINSKI et FROMENT, *Hystérie Pithiatisme troubles nerveux réflexes*, Masson, 1918.

DELREZ, *Arch. franco-belges de Chirurgie*, 1924.

LERICHE, *Gaz. des Hôpitaux*, 43, 1930.

FILATOW, *Brun's Beiträge*, **149**, 1.

SSOSON, *Arch. f. klin. Chir.*, **156**, 3.

QUELQUES FAITS OBSERVÉS
AU COURS DE L'ANESTHÉSIE RACHIDIENNE

(Essai d'interprétation)

par M. le Prof. SEBRECHTS (Bruges)

L'anesthésie rachidienne que nous avons commencé à pratiquer il y a vingt ans dans des cas exceptionnels, est devenue chez nous une méthode d'emploi journalier puisque notre statistique arrêtée en 1928 pour le Congrès de l'Association française de chirurgie comprenait 25.000 cas.

Cette pratique considérable nous a fait remarquer certains phénomènes étranges, parfois inquiétants que nous avons cherché à interpréter pour pouvoir répondre aux questions de nos assistants. Les interprétations devraient être corrigées par des physiologistes de carrière ; malheureusement, suivant la boutade de Leriche « la rachianesthésie n'a pas encore eu la bonne fortune d'intéresser les physiologistes », et nous avons été forcé de chercher nous-mêmes des hypothèses « de travail ». Celles-ci ont été singulièrement fécondes, puisque grâce à elles nous avons établi une technique simple et sûre qui nous donne satisfaction (1).

Ce travail forcément incomplet n'a d'autre but que de montrer la multiplicité des problèmes qui se posent quand on veut utiliser la rachianesthésie et surtout la rachianesthésie haute.

Nous parlerons uniquement aujourd'hui de la *susceptibilité du malade*.



Certains sujets sont très sensibles à l'anesthésie rachidienne ; une dose moyenne produit chez eux un effet exagéré. Non seulement nous obtenons une paralysie musculaire étendue ou même généralisée mais même la mise hors fonction complète de l'orthosympathique et du parasympathique avec toutes leurs conséquences.

Le malade est littéralement assommé.

D'autres sujets sont, au contraire, très peu sensibles à l'anesthésie rachidienne ; on dirait vraiment que la dose moyenne d'alcaloïde ne parvient pas à imprégner les racines postérieures (sensibles) et moins encore les antérieures (motrices et vasomotrices). Le malade ne sent rien, son pouls ne change pas, il peut se promener. Ce sont les deux types extrêmes que, dans la pratique, on rencontre très rarement.

(1) Cfr. *Bulletin de l'Académie de médecine de Belgique*, Ve série, X, **8**, 543.

Nous les appellerons « rachisensibles à l'excès » et « rachirésistants absolus ».

Une dose réduite chez les premiers et une dose anormalement élevée chez les seconds procurent une rachianesthésie satisfaisante. Mais même avec ces doses-là chez les premiers l'anesthésie sera toujours immédiate, profonde et prolongée tandis que chez les seconds elle sera tardive, légère et courte.

Entre ces deux extrêmes, on rencontre toute la gamme des sensibilités que nous appellerons normales ; ce sont les sujets chez lesquels une dose moyenne d'alcaloïde procure une rachianesthésie suffisante pour permettre l'opération courante sans donner l'alerte grave, et sans qu'il faille ajouter un autre mode d'anesthésie à la rachidienne. Il serait extrêmement intéressant de trouver la cause de cette différence de sensibilité, et nous avons la conviction que l'étude soignée de quelques types extrêmes fournirait des renseignements importants pour la pratique puisqu'elle permettrait de réduire d'avance la dose « normale » chez les rachisensibles et de l'augmenter chez les rachirésistants.

Malheureusement cette étude n'a jamais été faite et nous ne sommes pas placés dans les conditions voulues pour la faire.

Tout ce que nous pouvons dire c'est :

1° Que nous avons *l'impression* que les rachisensibles sont des sujets chez lesquels le parasympathique paraît être très actif (vagotoniques) tandis que chez les rachirésistants c'est l'orthosympathique qui paraît être prédominant.

Le sujet normal parfait serait donc celui chez lequel les deux systèmes sont en parfait équilibre.

En pratique, il n'y a guère de types vagotoniques, ni sympathicotoniques purs et les tests dont nous disposons actuellement pour les distinguer se sont montrés infidèles.

Assez souvent cependant, nous parvenons à distinguer par son aspect le malade chez lequel il faut augmenter ou diminuer la dose que nous avons appelée normale parce qu'elle convient au plus grand nombre.

2° Nous avons l'impression que cette sensibilié plus ou moins grande à l'anesthésie rachidienne n'est pas influencée par le nervosisme du malade, c'est-à-dire que des malades très nerveux peuvent être de très bons sujets pour la rachianesthésie et inversement. Certes, l'état d'excitabilité nerveuse, l'état psychique d'un malade, peuvent créer au chirurgien certains désagréments, mais si on contrôle objectivement le degré d'analgésie, de paralysie musculaire et vasomotrice on sera étonné de voir que certains malades hypernerveux sont très bien anesthésiés d'une façon précoce, profonde et prolongée et sont donc, en un mot, des « rachisensibles à l'excès ».

3° Nous avons la certitude que certains états modifient la sensibilité habituelle d'un sujet donné à l'anesthésie rachidienne, par exemple, l'état de grossesse utérine. Nous avons remarqué depuis longtemps au cours de très nombreuses opérations césariennes qu'il est nécessaire de réduire la dose normale d'anesthésique sous peine d'accidents graves.

Nous connaissons des faits multiples à l'appui de cette affirmation. Nous ne citerons qu'un seul exemple : Une malade assez nerveuse opérée de rétroversion utérine suivant le procédé de Doleris avait reçu la dose normale de six centigrammes de tutocaïne au troisième espace ; l'anesthésie fut bonne mais de très courte durée et la paralysie musculaire fut à peine suffisante pour terminer l'intervention faite en vingt minutes.

Deux ans plus tard, nous lui fîmes une opération césarienne basse à terme : quatre centigrammes au troisième espace nous donnèrent une anesthésie de plus d'une heure avec dépression circulatoire forte et torpeur cérébrale assez accentuée pour nécessiter une piqûre de caféine intraveineuse.

Il n'en est pas de même pour la grossesse extra-utérine : celle-ci est opérée d'ordinaire après rupture ; souvent la malade est fort anémiée et en état d'hypotension profonde.

Nous insistons toujours sur la nécessité de prendre des mesures avant et pendant l'opération pour relever la tension sanguine de ces malades, mais c'est une erreur de croire qu'il suffit d'une dose très réduite d'alcaloïde pour les opérer : il faut au contraire la dose normale sous peine d'avoir une anesthésie insuffisante.

Un exemple encore à l'appui de cette affirmation.

Une malade opérée d'appendicectomie à chaud avec la dose normale de 6 cg. de tutocaïne au troisième espace avait eu une anesthésie à peine suffisante.

Quelques mois plus tard, nous l'avons opérée de grossesse tubaire rompue avec inondation péritonéale massive et après avoir vu signalé sur sa fiche, son état de résistance relative à la rachianesthésie, nous n'avons pas hésité à lui donner une dose supérieure à la première (8 cg.) qui nous a donné une anesthésie suffisante mais nullement excessive.

Cette sensibilité exagérée à la rachianesthésie, au moment du terme de la grossesse normale, peut s'expliquer peut-être par le fait du développement considérable des vaisseaux de l'abdomen et des membres inférieurs au cours de la grossesse (en particulier les plexus périutérins et les varices).

En dehors de l'état de grossesse, ces territoires vasculaires de la partie inférieure de l'abdomen et des extrémités ont une capacité assez réduite.

La rachianesthésie basse lorsqu'elle ne dépasse pas en hauteur le premier segment lombaire de la moelle, bloque seulement les fibres vasomotrices du territoire mésentérique inférieur. La chute de tension sanguine est peu importante tant que l'anesthésique n'interrompt pas les fibres du territoire desservi par les splanchniques, territoire d'une capacité telle qu'en état de vasodilatation complète il peut recevoir et immobiliser la plus grande partie du sang de l'organisme, produisant ainsi l'hypotension si redoutée dans la rachianesthésie haute.

Au moment de la grossesse à terme il n'en est pas de même : les lacs sanguins de l'abdomen inférieur et des membres ont une capacité comparable à celle du lac splanchnique.

L'anesthésie des fibres vasomotrices de ces territoires est suivie d'une chute de tension formidable avec toutes ses conséquences parfois catastrophiques.

Nous savons que l'hypotension augmente l'analgésie et le relâchement musculaire parce qu'elle diminue la fonction des centres cérébraux au même titre, mais d'une façon plus dangereuse peut-être, qu'une piqûre de morphine-scopolamine.

Nous croyons que ces notions anatomophysiologiques suffisent à expliquer pourquoi pendant l'état de grossesse à terme la femme devient plus rachisensible, qu'elle ne l'est à l'état normal.

Evidemment, ici encore, il faut tenir compte des différences individuelles et une personne qui, à l'état normal, est rachirésistante totale aura encore besoin d'une dose plus forte d'alcaloïde au moment de l'opération césarienne qu'une personne qui, à l'état normal, est rachisensible.

Il n'en est pas de même au moment de l'opération d'une grossesse extra-utérine rompue de quelques semaines.

Nous n'avons pas ici, comme dans la grossesse à terme, cet énorme développement vasculaire.

Dans la grossesse extra-utérine rompue, l'hypotension peut être telle qu'elle constitue par elle-même un danger avant toute anesthésie. Le plus souvent elle est due, surtout immédiatement après la rupture et tant que la malade n'a pas reçu de stupéfiants, elle est due, disons-nous en partie aux réflexes hypotensifs déclanchés par la présence du sang dans le péritoine, réflexes que nous pouvons considérer comme un moyen providentiel que la nature emploie pour arrêter l'hémorragie.

Une injection de morphine faite à ce moment-là améliore momentanément le pouls de la malade en diminuant la réflectivité.

De même l'anesthésie lombaire en interrompant en tout ou en partie les fibres centripètes qui transmettent aux centres l'irritation qui déclanche le réflexe hypotensif (peu importe que ces fibres appartiennent aux voies centripètes de la sensibilité ou à celles de l'holosympathique) l'anesthésie lombaire, disons-nous, fait disparaître le facteur de l'hypotension constitué par ce réflexe. Si d'autre part on a, par des moyens appropriés (sérum intraveineux ou transfusion) remplacé momentanément la masse sanguine soustraite à la circulation, la malade atteinte de grossesse extra-utérine rompue se trouve dans les mêmes conditions au point de vue de sa sensibilité à l'anesthésie rachidienne, que si elle devait être opérée en dehors de l'état de grossesse.

Elle est redevenue rachisensible ou rachirésistante comme elle l'était avant son accident.

Si on a pu, au cours d'une opération antérieure, évaluer son degré de sensibilité à l'anesthésie rachidienne et déterminer la dose qui lui convient, on peut et on doit lui donner la même dose en tenant compte bien entendu d'autres facteurs sur lesquels nous n'insistons pas en ce moment, par exemple, la nécessité de combattre le shock, de stimuler l'activité cardiaque, etc.

4° Nous avons la certitude que les malades atteints de certains états pathologiques de l'abdomen présentent à l'anesthésie rachidienne une résistance très grande : c'est le cas pour les *péritonites tuberculeuses à forme ascitique*. Chez ces malades à état général précaire, on obtient avec la dose normale une anesthésie tardive, légère et courte. Nous sommes tellement certains de ce fait observé depuis longtemps sur un grand nombre de cas que nous majorons toujours la dose pour ces cas.

Malgré cela nous remarquons régulièrement que l'hypotension sanguine n'existe guère chez ces malades, puisque le battement aortique reste fort et rapide et que l'incision de la paroi nécessite de très nombreuses ligatures.

Est-ce que la tuberculose péritonéale ascitique se rencontre surtout chez des malades qui avant leur maladie étaient déjà très résistants à l'anesthésie rachidienne ?

Nous ne pouvons pas l'affirmer avec certitude mais nous en avons très nettement l'impression.

Nous ne croyons donc pas que la péritonite tuberculeuse augmente la rachirésistance du malade mais nous croyons avoir remarqué que les malades qui font une localisation péritonéale de leur tuberculose sont des rachirésistants.

Une observation plus attentive de ces cas permettra peut-être un jour de découvrir l'un ou l'autre caractère du type rachirésistant. Dans d'autres affections pathologiques de l'abdomen, le malade résiste très mal à l'anesthésie rachidienne et il faut réduire les doses sous peine d'accidents graves.

Ces états sont assez nombreux et leur étude nous entraînerait trop loin. Nous citerons seulement les cas d'obstruction intestinale et les cas d'adénome prostatique

Il paraît évident que dans ces cas la grande sensibilité à l'anesthésie lombaire résulte de la diminution de fonctionnement des centres bulbaires intoxiqués par la résorption des produits toxiques de l'intestin chez les obstrués ou par l'urée chez les prostatiques. Ceux-ci sont, du reste, en général des sujets âgés dont l'activité cérébro-spinale est normalement diminuée.

Quant aux obstrués, nous avons peut-être eu tort de parler des produits toxiques de leur intestin car des expériences récentes ont fait naître des doutes quant à la toxicité de ces produits.

Mais dans la pratique les choses se passent comme si l'intestin en état d'obstruction renfermait de véritables poisons et toute la technique chirurgicale si féconde en résultats est basée sur cette notion que nous ne pouvons pas abandonner ; ou tout au moins nous ne pouvons pas (jusqu'à plus ample informé) négliger les conséquences pratiques résultant de cette hypothèse.

5° Le point le plus important sur lequel nous désirons encore insister parce qu'il n'a, croyons-nous, jamais été signalé, c'est que la sensibilité individuelle à l'anesthésie rachidienne présente un caractère familial.

Dans une famille, certains enfants ont les traits de leur père et d'autres ressemblent à leur mère.

Les premiers se comportent vis-à-vis de la rachianesthésie comme leur père, les seconds comme leur mère.

En supposant que le père et la mère soient tous deux très sensibles à la rachianesthésie, les enfants seront des rachisensibles à l'excès.

C'est une notion que nous avons publiée lors du Congrès de 1928 après l'avoir vérifiée pendant des années.

Dans le poste que nous occupons depuis vingt ans, nous avons eu l'occasion très fréquemment d'opérer différents membres d'une même famille. Par exemple, les cas de hernie et les cas d'appendicite se rencontrent avec une très grande fréquence dans certaines familles et nous pouvons affirmer qu'une opération identique chez deux membres de la même famille qui se ressemblent nécessitera la même dose, forte ou faible, d'anesthésique chez les deux.

Cela est tellement vrai que lorsque nous devons opérer dans ces conditions-là, nous vérifions toujours d'abord dans nos dossiers quelle dose nous avons donnée lors de la première opération et quels incidents se sont produits.

L'injection de cette même dose dans les mêmes conditions chez le second membre opéré de la famille produit exactement le même effet au point de vue du degré, de la rapidité et de la durée de l'anesthésie que chez le premier.

C'est le hasard qui nous a fait découvrir cette curieuse notion du caractère familial de la sensibilité à la rachianesthésie. Nous avions déjà de l'anesthésie lombaire une pratique suffisante pour pouvoir éviter toute erreur d'appréciation résultant de fautes de technique, quand nous rencontrâmes parmi nos malades un cas de résistance totale à l'anesthésie.

Le malade, un homme de la campagne, usé par le travail avait reçu pour l'opération de sa hernie la dose moyenne que nous employions à cette époque.

La piqûre avait été correcte et nous avions, comme nous le faisions à ce moment laissé couler une certaine quantité de son liquide qui sortait sous forte tension. Après un quart d'heure, le malade à notre grand étonnement nous déclara que ses jambes ne « dormaient pas ».

Il sentait l'attouchement et la piqûre. Nous le fîmes asseoir : il ne manifesta aucun signe de malaise.

Ses réflexes rotuliens étaient normaux, nous le fîmes circuler et il fît le tour de la salle sans aucune difficulté. Nous n'osions pas encore à cette époque recommencer la piqûre. Nous le fîmes chloroformer et il eut besoin d'une dose anormalement grande de chloroforme.

Evidemment, le phénomène nous sembla étrange ; ne pouvant pas incriminer les ampoules anesthésiques qui nous donnaient toute satisfaction, nous songions vaguement à une idiosyncrasie individuelle. Cet homme n'était pas un nerveux, ni un douillet : c'était un rude travailleur des champs. Il guérit très simplement et fut satisfait de son opéra-

tion puisqu'un an plus tard il m'amena son fils qui avait une hernie comme lui. Nous assistâmes à une scène identique en tous points.

Dans la suite des temps j'eus l'occasion d'opérer trois autres fils de la même famille. Ils furent tous absolument réfractaires à ce mode d'anesthésie appliqué par moi-même avec des techniques successivement modifiées mais correctes et des produits divers. Depuis lors, cette notion s'est imposée à nous. Il est évident que si nous n'avions pas eu la chance de rencontrer un type de rachirésistance aussi complète (et ce type est vraiment rare), si nous n'avions pas été favorisés au point d'opérer cinq sujets de la même famille il nous serait resté un doute.

Mais cette expérience remarquable a attiré notre attention sur ces faits et depuis lors nous n'avons jamais trouvé d'exception à cette règle parmi les nombreux cas d'opérations multiples dans une même famille.

A l'autre extrémité de la gamme des résistances nous connaissons des familles dont plusieurs membres sont d'une sensibilité telle à l'anesthésie rachidienne qu'il faut réduire notablement les doses que nous considérons comme normales, sous peine d'accident.

Il est inutile d'insister, je pense, sur l'intérêt pratique considérable qui découle de cette notion de susceptibilité individuelle et familiale.

Malheureusement, il n'est pas encore possible de déterminer d'avance d'une façon certaine si un sujet est très sensible ou moyennement sensible ou très résistant à la rachianesthésie.

Quand nous opérons un sujet donné pour la première fois et qu'il ne présente aucun des états qui exigent une dose plus faible ou plus forte, nous sommes forcés de lui donner la dose que nous avons établie comme dose normale et puis d'attendre les événements.

Cette attente doit être longue (15 minutes au minimum) d'abord parce que même quand le sujet ne ressent plus aucune douleur, il peut être dangereux de tirer sur les viscères avant que l'hypotension maximale résultant du blocage des fibres orthosympathiques, très résistantes à la rachi, ne commence à disparaître et en second lieu parce qu'il y a des sujets chez qui l'imprégnation est tardive. Cette anesthésie retardée existe même avec une très grande fréquence dans certains états pathologiques, par exemple, dans la sténose pylorique cicatricielle avancée : ces sujets-là en état de grande misère physiologique, et chez qui on aurait peur de faire une anesthésie lombaire, résistent en général très longtemps mais le plus souvent, même avec une dose très faible, on obtient tardivement une anesthésie profonde et prolongée. Chez eux, l'attente devrait être plus longue encore.

Quand après un quart d'heure le sujet n'est pas parfaitement anesthésié, c'est-à-dire que le soulèvement de la peau avec une pince de Kocher faite à son insu à l'extrémité supérieure de l'incision projetée fait changer le rythme respiratoire du malade ou lui fait même faire la grimace, il ne faut jamais commencer l'opération sans compléter l'anesthésie. Chez les misérables dont nous venons de parler on peut encore

patienter quelques minutes en abaissant le malade en position de Trendelenburg.

Si l'opération est peu importante et si l'anesthésie est relativement bonne on peut faire une piqûre de sédol (morphine demi cg. ÷ scopolamine 2/10 de mg.) qui par sa morphine diminue la perception des sensations douloureuses et par sa scopolamine complète le relâchement musculaire de la rachianesthésie.

Le plus souvent il est préférable de recommencer la piqûre au même endroit et avec la même dose.

Nous pouvons affirmer pour l'avoir fait très souvent que cette réinjection même quand elle est faite une deuxième ou une troisième fois (avec une aiguille fine) ne présente aucun danger.

Si, au contraire, nous avons injecté une dose moyenne à un sujet de la classe des rachisensibles à l'excès, nous verrons bien longtemps avant les 15 minutes et le plus souvent dans les tout premiers instants survenir l'anesthésie la plus profonde.

Dans ces cas, il est nécessaire de diminuer la rachianesthésie. Tous les stimulants de la circulation sanguine ont cet effet mais à des degrés très divers.

L'adrénaline appliquée suivant les règles qui sont en usage chez nous rend l'anesthésie moins profonde et raccourcit beaucoup sa durée.

C'est pour la rachianesthésie un médicament absolument indispensable et nous l'utilisons depuis des années. Actuellement son usage s'est beaucoup restreint parce que nous avons appris à prévoir et à éviter les alertes.

A côté des cas où le sujet est très résistant ou très sensible à la rachi, nous pouvons avoir un malade de sensibilité moyenne parfaitement anesthésié avec une dose moyenne mais chez lequel l'opération dure trop longtemps pour permettre de la terminer avec l'anesthésie rachidienne seule.

Dans ces cas où, à la fin de l'opération, la tension sanguine est redevenue quasi-normale et où les muscles de la paroi abdominale se tendent il n'y a qu'un seul anesthésique qui donne satisfaction, c'est le chloroforme.

Ce malade est en réalité déjà un rachirésistant et l'expérience nous a appris que les rachirésistants ont besoin de grandes doses d'anesthésie générale.

Nous avons essayé souvent dans ces cas, qui actuellement sont devenus très rares, de fermer l'épigastre en faisant l'anesthésie générale au chlorure d'éthyle, à l'éther, à l'Ombredanne avec mélanges. Toujours l'opération dégénère en une lutte déplorable contre les viscères et le résultat technique de l'opération est mis en danger par une mauvaise suture de la paroi.

La narcose au chloroforme en goutte à goutte faite avec prudence

et patience, donne le relâchement nécessaire pour mener à bien la fin de l'opération [1].

Nous n'oserions pas conseiller ce mode d'anesthésie tout au début de l'opération avant que la période d'hypotension maximale ne soit passée.

Dans des cas fort rares, l'anesthésie de la paroi peut être parfaite tandis que l'anesthésie des viscères est incomplète.

Dans ces cas, nous conseillons d'injecter un anesthésique local dans le voisinage des ganglions sympathiques (solaire, mésentérique inférieur) ou d'infiltrer les mésos.

Nous avons étudié ainsi un seul des problèmes de la rachianesthésie celui de la sensibilité individuelle et familiale.

C'est par l'étude systématique des divers phénomènes qui se présentent au cours de l'anesthésie que la méthode est devenue ce qu'elle est chez nous : un moyen d'anesthésie excellent pour beaucoup d'opérations abdominales.

Le temps qui nous est accordé ne permet pas d'aborder d'autres questions.

---

[1] Quand un sujet résiste à l'anesthésie générale il suffit, d'après Pascalis, de lui injecter sous la peau 1/2 miligramme de salicylate d'éserine pour obtenir le relâchement de la paroi abdominale. Nous avons l'impression qu'il en est de même chez le sujet rachirésistant et que l'injection d'un demi milligramme ou d'une dose plus forte d'éserine augmente le relâchement de la paroi et sensibilise le sujet à la rachianesthésie.

L'OSCILLOMÉTRIE EN CHIRURGIE

Etude préliminaire

par ALBERT, COHEUR et KIRSCH

L'étude des troubles sympathiques des membres nous place constamment devant des problèmes vaso-moteurs complexes, dont il serait désirable de pouvoir enregistrer en clinique, le sens et l'étendue, en même temps que la localisation précise. La capillaroscopie, la tonométrie, la mesure de la pression veineuse sont autant de procédés d'exploration fort intéressants, qui peuvent fournir des indications très utiles.

Mais pour l'observation continuelle, d'heure en heure, de plusieurs malades, il faut un appareillage simple, de technique aisée et rapide. Toutes ces qualités se trouvant réunies dans l'appareil de Pachon, il est assez naturel que l'on s'en serve d'une façon régulière pour étudier ces modifications vaso-motrices. C'est surtout l'index oscillométrique, ou plutôt la courbe oscillométrique, qui nous a servi régulièrement dans nos observations.

Et, en somme, tant que nous nous sommes contentés de comparer la courbe oscillométrique de deux membres symétriques, comme nous l'avons fait pour nos études sur les troubles vaso-moteurs réflexes d'origine traumatique, et que les différences que nous enregistrons restent constantes, l'indication présente une valeur réelle.

Mais si on veut utiliser les indications de l'oscillométrie, pour élucider un phénomène passager, tel que les réactions vaso-motrices à certains produits dont l'action sur l'animal nous est connue, on est frappé de recueillir les résultats les plus paradoxaux .

Désirant nous rendre compte jusqu'à quel point, les indications oscillométriques du Pachon correspondent à la réalité, nous avions entrepris avec nos élèves Coheur et Kirsch, l'étude comparée, chez l'animal et chez l'homme, de différents produits à action vaso-motrice très nette. Nous pouvions ainsi comparer les inscriptions des manomètres enregistreurs placés directement dans les vaisseaux des animaux (bout central de la carotide et périphérique des deux fémorales), aux renseignements fournis par la courbe oscillométrique, au Pachon, chez l'homme.

Pour un même produit, (l'acétyl-choline, par exemple) les résultats obtenus chez l'homme nous ont paru absolument contradictoires d'un jour à l'autre.

Nous avons eu recours, alors, à l'étude du rapport oscillométrique, qu'E. May avait déjà, en 1920 tenté de substituer à l'index oscillométrique, comme donnant des renseignements plus précis et ne dépendant que des

modifications vasculaires. Nous n'en avons pas obtenu de résultats plus concordants.

Il ne nous est pas possible de donner ici un aperçu de l'ensemble de cette étude, que nous poursuivons d'ailleurs encore. Nous voudrions simplement aujourd'hui, comme introduction à ce travail, attirer l'attention sur les variations spontanées de l'index oscillométrique, qui peuvent survenir chez l'homme normal.

Depuis pas mal de temps déjà, plusieurs auteurs avaient noté qu'il n'y a aucune similitude d'I. O. entre deux individus normaux, et que chez le même individu l'I. O. est fort différent à la racine et à l'extrémité d'un même membre, différent aussi au membre supérieur et au membre inférieur. De plus, comme l'I. O. dépend non seulement des modifications vasculaires, mais encore de l'énergie des contractions cardiaques, tous les facteurs qui peuvent modifier cette dernière (effort, fatigue, émotion, repas, etc.) entraîneront inévitablement une modification de l'I. O.

C'est pour ces motifs, que l'examen de nos cas se faisait toujours aux mêmes heures de la journée, dans les mêmes conditions de repos au lit en décubitus dorsal, toutes nos mensurations étant faites avec le même appareil de Pachon (à une seule manchette, pour obtenir des oscillations plus étendues).

Quelques courbes oscillométriques illustreront, mieux que de longs commentaires, les variations fantastiques que nous pouvons observer ainsi, chez un même individu, non pas d'un jour à l'autre, mais dans un court laps de temps d'une ou deux heures, qui représente la durée normale minima nécessaire pour faire une étude un peu suivie des réactions vasomotrices provoquées.

Les deux premières figures représentent les courbes oscillométriques

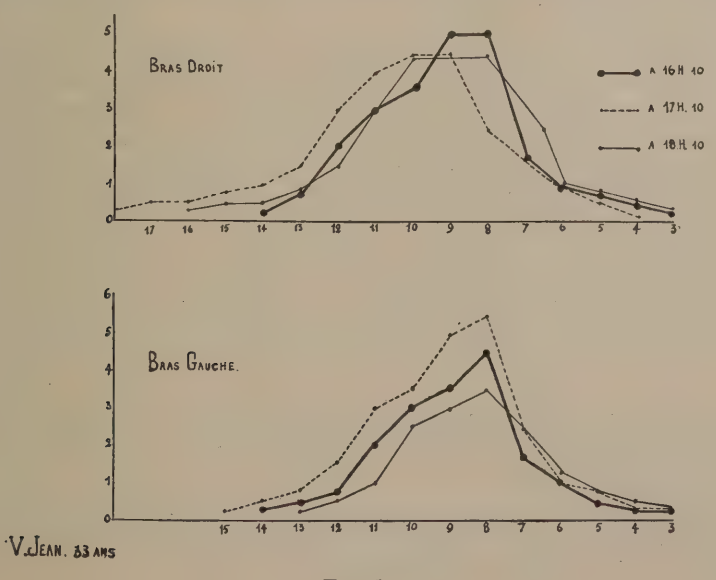


Fig. 1.

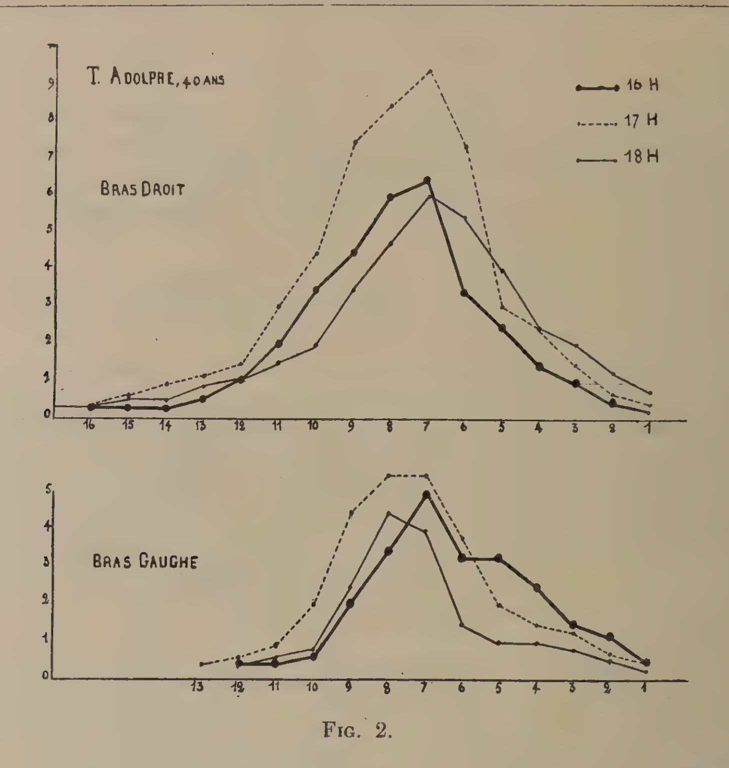


Fig. 2.

enregistrées au niveau du bras de deux individus normaux. L'examen est répété d'heure en heure.

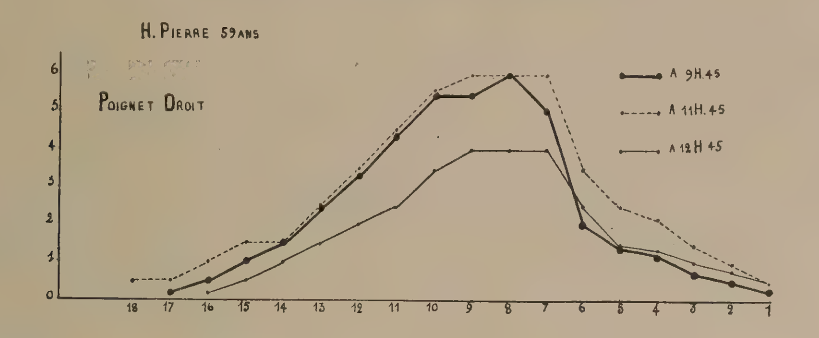
Chez les deux, nous constatons d'abord, que la C. O. est plus étendue. plus vaste à droite qu'à gauche, l'I. O. droit est également un peu plus élevé (premier tracé).

Chez le premier, (V. Jean) une heure après le premier examen, l'I. O. a diminué à droite (de 5 à 4,5), il a, par contre, augmenté à gauche jusqu'à dépasser l'I. O. initial de droite (de 4,5 à 5,5). Deux heures après, l'I. O. du côté droit ne s'est guère modifié, alors que le gauche tombe en dessous de son point de départ (3,5). Chez le deuxième (T. Adolphe), en une heure, l'I. O. droit passe de 6,5 à 9,5, pendant que le gauche passe de 5 à 5,5. Une heure plus tard, il est retombé à 6 à droite et 4,5 à gauche.

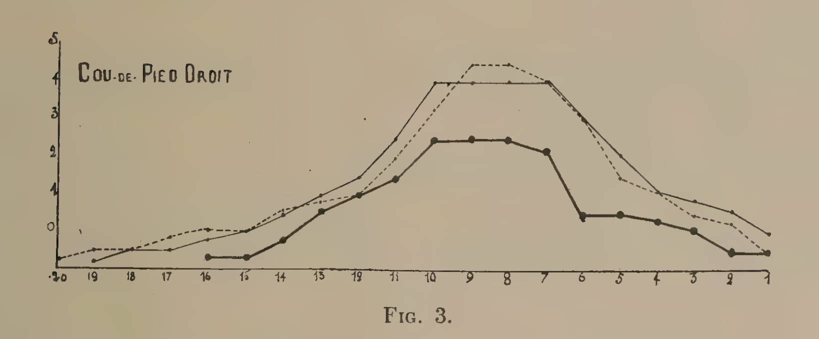
Nous voyons donc que si dans les deux membres symétriques, les C. O. ne sont jamais superposables, même chez une personne au repos complet au lit, nous pouvons enregistrer au Pachon, des déviations de l'I. O. tout à fait différentes d'un membre à l'autre, voire de sens diamétralement opposé.

Si nous considérons maintenant d'autres courbes, prises au poignet et au coup-de-pied du même côté, nous assistons à des déviations de l'I. O. tout aussi suggestives.

Voici un premier individu (H. Pierre), examiné le matin au repos complet au lit. Au premier examen, nous constatons un I. O. beaucoup plus élevé au poignet (6), qu'au cou-de-pied (3,5).

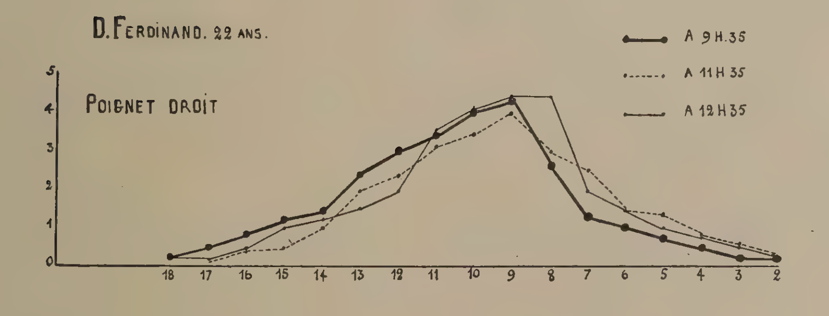


H. PIERRE 59 ANS
POIGNET DROIT
A 9H.45
A 11H.45
A 12H 45

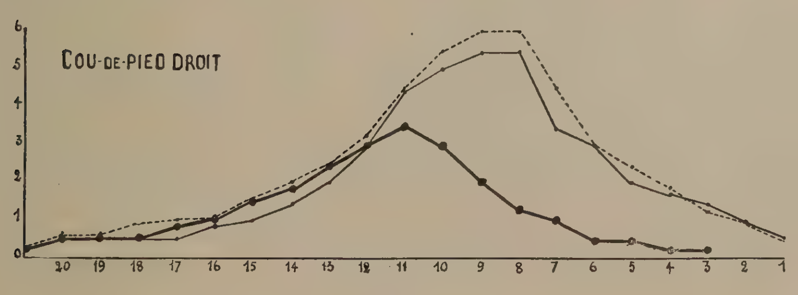


COU-DE-PIED DROIT

FIG. 3.



D. FERDINAND. 22 ANS.
POIGNET DROIT
A 9H.35
A 11H 35
A 12H35



COU-DE-PIED DROIT

FIG. 4.

Deux heures après, alors que nous ne constatons pratiquement aucune modification de la courbe du poignet, l'I. O. du cou-de-pied monte de 3,5 à 5,5. Après un nouvel intervalle d'une heure, cette fois l'I. O. du poignet descend de 6 à 4, alors que celui du cou-de-pied reste à 5.

Chez un autre (D. Ferdinand), pendant les quatre heures que dure l'examen, la C. O. du poignet ne s'est guère modifiée. Au cou-de-pied par contre, l'I. O. passe brusquement de 3,5 à 6, niveau auquel il se maintient encore une heure après.

Remarquons qu'entre les deux premiers examens, ce malade était sorti un instant de son lit. Ce mouvement insignifiant avait suffi pour modifier du simple au double et d'une façon assez durable l'I. O. au niveau du membre inférieur.

Il nous serait possible de varier ainsi à l'infini les exemples.

La conclusion qui s'impose, c'est que :

1° L'index oscillométrique et la courbe O. d'un membre sont des valeurs extrêmement peu stables, même chez un individu tout à fait normal.

2° Elle est généralement différente aux quatre membres.

3° Elle peut se modifier d'un instant à l'autre, même chez un individu au repos complet au lit, et ce dans un sens diamétralement opposé dans les deux membres symétriques, comme dans les deux membres d'un même côté.

4° Une modification d'I. O. dans un membre, comparé à l'I. O. de l'autre côté, n'a donc de valeur, que pour autant qu'elle se montre constante à plusieurs examens successifs.

5° On ne peut s'étonner, dans ces conditions, des différences de résultats que l'on peut enregistrer d'un jour à l'autre avec un même produit, l'acétyl-choline, par exemple, à action manifestement vaso-dilatatrice.

Nous avons observé ainsi, chez un même individu, à la suite d'une injection quotidienne d'Acécoline, une fois une augmentation de l'I. O., une autre fois une légère diminution, une autre encore l'absence complète de modification. Parfois aussi, l'I. O. augmente dans un membre, alors qu'il reste stationnaire ou diminue dans les autres et vice-versa.

Ceci se conçoit aisément, puisqu'en même temps que le produit injecté, les différentes causes qui font varier l'I. O. chez l'individu normal peuvent intervenir pour augmenter, ou pour neutraliser en tout ou en partie, l'effet vaso-moteur du médicament que l'on étudie.

6° Au point de vue des applications chirurgicales, l'interprétation de l'index et de la courbe oscillométriques exige donc la plus grande circonspection. Les indications oscillométriques ne représentent jamais que des renseignements globaux de phénomènes vaso-moteurs qui ne sont pas nécessairement du même sens et qui peuvent par conséquent se contrarier et même s'annuler.

LE BILAN DES RADIATIONS DANS LE DOMAINE OTO-RHINO-LARYNGOLOGIQUE

par le Dr BREYRE

Professeur à l'Université de Liége

La question des tumeurs malignes même accessibles reste toujours angoissante et ne cesse de préoccuper tous les esprits avides de progrès thérapeutiques.

N'est-il pas prématuré de porter un jugement d'ensemble sur les résultats que l'on peut obtenir dans notre domaine par les radiations appliquées aux tumeurs malignes?

Le problème de la morbidité et de la mortalité par néoplasie maligne quoique ayant été abordé par un nombre immense de chercheurs, cliniciens, anatomistes, expérimentateurs n'a pas reçu jusqu'ici de solution d'ensemble. Mais peut-il en recevoir une?

Il est tellement complexe, il peut être envisagé sous tant de faces. Quand on veut juger de la valeur d'un traitement quelconque on prend des chiffres, on compte les succès et les insuccès et l'on élimine inconsidérément une série de facteurs individuels, en apparence accessoires. Cette élimination permet des calculs très simples qui ont une très petite signification parce qu'elle n'envisage pas les détails ; elle est arithmétique, schématique mais pas du tout rationnelle.

J'insisterai en passant au cours de mon exposé sur les observations auxquelles je fais allusion pour bien préciser ma pensée.

L'application des radiations aux tumeurs malignes en O. R. L. constitue-t-elle un progrès ?

On peut sans contredit répondre affirmativement.

Obtient-on partout des résultats superposables? Assurément non.

La période des tâtonnements n'est pas close. La posologie des radiations n'est pas encore établie, loin d'être universellement admise. Le mode d'administration varie avec les pays et les écoles. Et cependant, en bloc, on a le droit et le devoir de dire qu'il y a quelque chose de changé dans le pronostic des tumeurs malignes depuis l'emploi des radiations.

Ne nous laissons pas aller à la désespérance parce qu'un échec retentissant fait crier à la faillite des radiations.

Les résultats sont plus favorables aujourd'hui qu'hier et ils seront meilleurs demain.

Nez et naso-pharynx

On rencontre dans ces cavités des tumeurs malignes assez variables parmi lesquelles l'épithéliome cylindrique domine. Les sarcomes, les angio-sarcomes, les lymphosarcomes ne sont pas rares. Une mention spéciale s'impose pour les tumeurs primitives de l'amygdale pharyngée où l'on rencontre parfois comme dans les autres parties de l'anneau de Waldeyer, amygdale palatine et amygdale linguale, le lymphome malin ou lymphadénome. L'origine des tumeurs malignes du nez est presque toujours ethmoïdale, parfois c'est l'antre d'Highmore qui est le point de départ de la néoplasie.

La radium chirurgie, exérèse suivie de l'application d'appareils radifères donne des résultats très encourageants. Nous avons des malades en vie sans trop grande déformation dont la cure remonte à plus de six années. Les rayons X ont été appliqués avec succès contre les lymphomes malins de l'anneau de Waldeyer. Tous les cliniciens savent que le lymphome malin a une marche inexorable et représente un *noli me tangere* du point de vue chirurgical. Nous avons en observation des enfants dont le lymphome a disparu depuis plus de deux ans et chez qui les recherches les plus attentives n'ont révélé aucune métastase.

C'est à propos du lymphome malin que ma remarque du début me paraît intéressante. Voici en résumé nos cas de lymphomes depuis l'ouverture du centre anticancéreux : lymphome amygdalien opéré et récidivant pour la deuxième fois, chez un garçon de 8 ans, fonte rapide par les X, métastase abdominale, exitus en 7 semaines. Lymphome amygdalien palatin chez une fillette de 8 ans, opérée malgré nous, irradié par les X, disparition sans récidive ni métastase depuis vingt-cinq mois. Lymphome de la base de la langue chez une femme bien portante de 60 ans, disparition par les X depuis vingt-trois mois. Lymphome de l'amygdale palatine chez un vieillard de 74 ans, disparition par les X depuis quarante mois. Lymphome de la base de la langue chez une femme de 63 ans diabétique et brightique hypertendue, échappe à l'observation, exitus de cachexie sans contrôle anatomique.

Lymphome de l'amygdale pharyngée avec ombre sphénoïdale très nette chez un enfant de 6 ans, disparition par les X, récidive dans les 6 mois. Application de 150 % de la dose première, nouvelle disparition, le résultat tient depuis onze mois.

Différence d'âge, différence d'état général, voilà ce qui saute aux yeux. Et les inconnues, et l'état des glandes endocrines. Imagine-t-on ce qu'il faut mettre en œuvre de procédés de recherches pour faire des observations sérieuses ?

Peut-on comparer les résultats chez des sujets aussi différents ?

La curabilité d'une néoplasie maligne ne dépend-elle pas de tout une série de facteurs dont un certain nombre nous échappent ?

Ces réflexions valent pour toutes les localisations mais rien n'est plus déconcertant que la différence d'évolution d'une lésion maligne chez deux individus paraissant en tout point semblables.

Isthme du gosier et pharynx buccal

Les néoplasies éphithéliales s'y rencontrent fréquemment : elles partent souvent de l'amygdale palatine ou de l'amygdale linguale pour évoluer vers le voile du palais et donner des métastases ganglionnaires précoces. Nous n'avons pas pu contrôler l'action de la télécurie thérapie. Au centre anticancéreux de l'Université de Liége, nous avons pu observer certains cas exceptionnels très roentgensensibles dont quelques-uns restent guéris depuis plusieurs années. Tous nos cas d'épithélioma épidermoïde ont succombé dans l'année malgré les efforts combinés de la radium chirurgie. Du point de vue palliatif, c'est la roentgenthérapie pénétrante qui nous a donné les meilleurs résultats.

Hypopharynx

La localisation la plus fréquente réside dans la gouttière latérale du pharynx. La plupart de nos cas avaient un développement tel que l'on pouvait rarement distinguer les cancers extrinsèques du larynx d'avec les cancers hypopharyngés. L'évolution est en tout point superposable à cette des cancers de l'isthme. Le cancer isolé du voile du palais aiguillé précocement donne de longues survies ; il en est de même des cancers *limités* à l'amygdale palatine ou à un pilier du voile.

Larynx

On distingue dans le larynx les néoplasies intrinsèques, et les néoplasies extrinsèques. Pour la plupart des auteurs, il faut réserver l'appellation d'intrinsèque aux seuls néoplasmes de la corde vocale et ranger les cancers de la bande ventriculaire dans la catégorie des extrinsèques ou marginaux. Nous avons adopté cette division en raison du fait que les cancers cordaux sont les seuls ayant une évolution lente et des métastases ganglionnaires très tardives.

Du point de vue thérapeutique, nous les avons tous traités de même. Le radium *in situ* ne nous ayant donné que des déboires, la télécurie thérapie n'étant pas applicable faute de quantités suffisantes de métal, nous nous sommes adressés à la roentgenthérapie pénétrante. Nous possédons en elle une arme puissante, qui nous permet de guérir certains cancers endo- et exolaryngés roentgensensibles.

Pour les cancers de la corde vocale, l'application des rayons roentgen-pénétrants nous permet de porter un diagnostic presque certain : Si le cancer résiste au delà de quatre semaines à des doses allant jusqu'à 20.000 R et parfois au delà, c'est qu'il ne pourra guérir que par la chirurgie.

Les rayons roentgen opérant ainsi la distinction des cas curables par les radiations, ceux qui leur résistent nous dictent notre conduite. Nous considérons cette discrimination par les X comme un moyen diagnostique très précieux. Depuis que nous employons de fortes quantités de rayons pénétrants par trois et parfois quatre portes nos résultats s'améliorent.

Oesophage

Pour l'oesophage, nous commençons seulement à voir des cas relativement précoces, c'est-à-dire des cancers superficiels de la muqueuse n'ayant pas encore fixé l'organe aux tissus avoisinants. Notre plus longue survie jusqu'ici est de vingt-trois mois chez un malade de 53 ans qui, aujourd'hui, a tous les attributs de la santé et se nourrit pour ainsi dire normalement.

Nous nous efforçons d'établir l'étendue du mal et nous introduisons des capsules de radium tout le long de la lésion sans gastrostomie.

J'ai une conviction profonde que je voudrais vous voir partager :

Quand le diagnostic sera plus précoce, quand les dysphagies et les raucités seront soumises de bonne heure à l'examen du laryngologiste nos résultats iront en s'améliorant dans de grandes proportions.

Le centre fonctionne depuis bientôt six années. La collaboration du clinicien, de l'anatomiste et du radiologue doublé du physicien y est étroite et constante. Les observations y sont rigoureusement et minutieusement tenues ; les tâtonnements, la timidité du début feront progressivement place à une assurance croissante et nous formulons l'espoir de voir nos efforts et nos sacrifices récompensés par un nombre plus grand de souffrances soulagées et de vies sauvées.

L'EMPLOI DES BUTÉES OSSEUSES DANS LE TRAITEMENT DES PARALYSIES INFANTILES

par PARISEL et P. LORTHIOIR

Ex-adjoint et assistant du Service de Chirurgie Infantile (Bruxelles)

Le traitement des séquelles de la paralysie infantile a pour but de rétablir dans la mesure du possible la fonction du membre paralysé. Les efforts des orthopédistes se sont portés tout particulièrement sur le membre inférieur : en effet, c'est le membre le plus souvent atteint et sa paralysie rend la vie de relation très pénible pour les malades. Ce qui gêne particu-

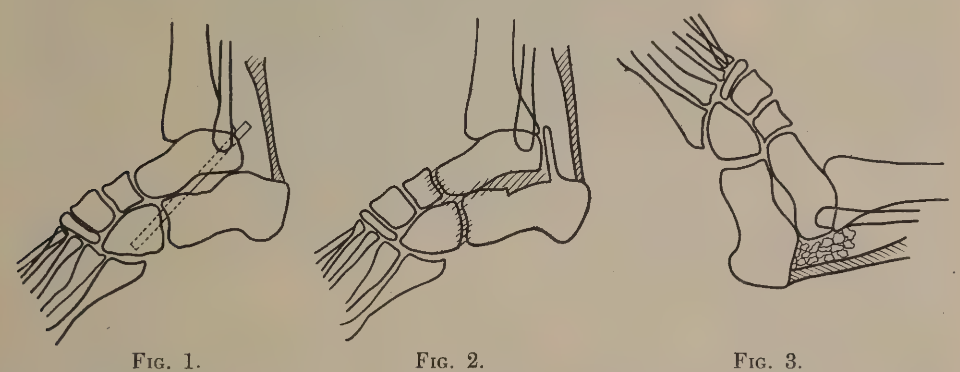


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

Fig. 1. Technique de Toupet. — *Un tunnel est foré de bas en haut et d'avant en arrière. Il intéresse le calcaneum, l'astragale et le cuboïde. Un greffon est introduit dans ce tunnel et réalise à la fois une arthrodèse et une butée par son extrémité libre.*

Fig. 2. Technique de Nové-Josserand. — *La butée est taillée dans le calcaneum. On la fait pivoter vers le haut et elle est insérée entre la mortaise tibio-tarsienne et le tendon d'Achille. Arthrodèse sous astragalienne et médio-tarsienne.*

Fig. 3. Technique de Campbell. — *Des débris ostéo-cartilagineux sont empilés entre la mortaise tibio-tarsienne et le tendon d'Achille dans une gouttière creusée à la face supérieure du calcaneum.*

lièrement la marche dans les paralysies du membre inférieur, c'est le pied ballant. Dans la marche normale, le talon se pose d'abord sur le sol, puis l'avant-pied touche terre par la base du métatarsien, et l'ensemble du pied est alors appliqué sur le sol. Ce double mouvement nécessite l'intervention des articulations tibio-tarsienne et médio-tarsienne.

Si l'une de ces articulations ou les deux sont ballantes, ces conditions ne sont plus réalisées et le pied touche le sol soit par sa pointe, soit par son côté externe ou interne, suivant la nature de la paralysie. Il en résulte que le paralytique bute facilement, tord son pied et risque à cha-

que pas de tomber. Instinctivement, pour éviter ces écueils, il tendra, dans la mesure où ses muscles extenseurs le lui permettront, à lever fortement le pied de façon à supprimer complètement le contact avec le sol et laissera alors retomber le pied lourdement dans son entièreté, ou même, ce qui arrive très souvent, le mouvement sera inversé, c'est-à-dire qu'il posera d'abord la pointe, puis l'arrière-pied. Cette marche est pénible, disgracieuse et fatigante : c'est le steppage. Depuis que la chirurgie orthopédique est née, on a essayé de remédier à cet inconvénient et nous ne citerons que pour mémoire les transplantations tendineuses destinées à suppléer à la fonction déficiente d'un groupe musculaire. Quoique pratiquées encore par quelques chirurgiens comme complément d'opération sur le système osseux, elles ont été abandonnées en général par suite de l'insuccès de la méthode : les tendons paralysés continuent à s'allonger et le pied ne tarde pas à retrouver sa déformation primitive.

On a essayé également de redresser le pied déformé en fixant les tendons sur les os. Ce sont les ténodèses qui furent abandonnées pour les mêmes raisons. Une excellente opération fut alors imaginée par Ducroquet-Launoy ; elle consiste à bloquer en bonne position une ou deux articulations, suivant la nature et le degré de paralysie : c'est la double arthrodèse tibio-tarsienne et médio-tarsienne. Cette opération corrige les mauvaises attitudes, mais laisse un pied complètement enraidi ; elle a donné et elle donne encore d'excellents résultats et est couramment employée. Mais pour qu'un pied soit réellement utile, il faut qu'il conserve des mouvements de flexion. C'est le but de l'arthrorise. Elle consiste à créer une butée osseuse devant la mortaise tibio-péronière pour limiter la flexion et l'extension du pied.

En 1920, Toupet, dans le *Journal de Chirurgie*, donnait une technique d'enchevillement du tarse, limitant les mouvements d'extension du pied . En 1922, Putti décrivait une opération analogue dont le but était la limitation de la flexion ; c'est lui qui lui a donné le nom d'arthrorise (du grec ἄρθρος et ὁριζω, *je limite*). Depuis, cette opération s'est beaucoup répandue et des observations en ont été publiées en Amérique, en Angleterre, en Italie et en France. Nous allons étudier les indications de cette excellente opération qui, tout en limitant les mouvements de l'articulation tibio-tarsienne, laisse une mobilité suffisante au pied.

Le pied bot paralytique, peut présenter plusieurs variétés :

1° L'équinisme, qui est rarement unique et s'accompagne de varus ou de valgus, amenant, outre le steppage provoqué par la chute du pied, l'appui défectueux sur le bord interne en valgus, sur le bord externe en varus.

2° Le talus, qui cause une boiterie très gênante, en provoquant la flexion du genou. La triple arthrodèse redresse les déformations, mais le blocage complet des articulations, comme nous l'avons dit plus haut, est défectueux pour la marche.

Si, au contraire, nous parvenons à empêcher la chute du pied en avant, en limitant le mouvement d'extension, nous supprimons le step-

page si pénible et nous conservons de la mobilité dans l'articulation tibio-tarsienne. Ceci est réalisé par la butée osseuse.

L'arthrorise suffit à elle seule si nous n'avons à traiter que l'équinisme pur ; il en est de même pour le talus pur : la butée est alors antérieure.



FIG. 4. Observation I. — *Résultat immédiat de la technique de* NOVÉ-JOSSERAND. *On distingue la butée à la face supérieure du calcaneum. Un fil de bronze assure l'arthrodèse sous-astragalienne. Le pied est mis en bonne position dans un plâtre.*

S'il existe des déformations latérales, rien n'empêche de bloquer les articulations médio-tarsiennes pour obvier au varus ou au valgus. De cette façon, le pied bien redressé conserve sa flexion et son extension sur la jambe, indication essentielle pour qu'un pied soit utile.

Plusieurs auteurs comme CAMERA, MARAGLIANO, ont remarqué les conséquences heureuses de cette intervention au point de vue de l'activité musculaire : les muscles sont mis dans les meilleures conditions pour se contracter dans la mesure où leur activité est conservée ; ils sont ramenés aux conditions physiologiques de leur travail ; comme les paralysies ont toujours une longue période de régression, la restauration musculaire en est grandement facilitée.

La seconde indication nous est fournie par la paralysie totale du membre inférieur. En créant, selon la technique de Putti, une butée antérieure qui limite la flexion du pied à 110°, le genou se met en hypertension et se cale en arrière, le membre inférieur donnant ainsi un appui suffisant pour permettre la station debout sinon la marche.

Pour limiter les mouvements latéraux, certains auteurs ont eu l'idée de pratiquer des enchevillements latéraux sous la malléole péronière,

pour limiter le valgus ; sous la malléole tibiale, pour limiter le varus. Ces interventions ont été pratiquées, entre autres, par Calandra et Del Torto. Ces essais n'ont pas été suivis.

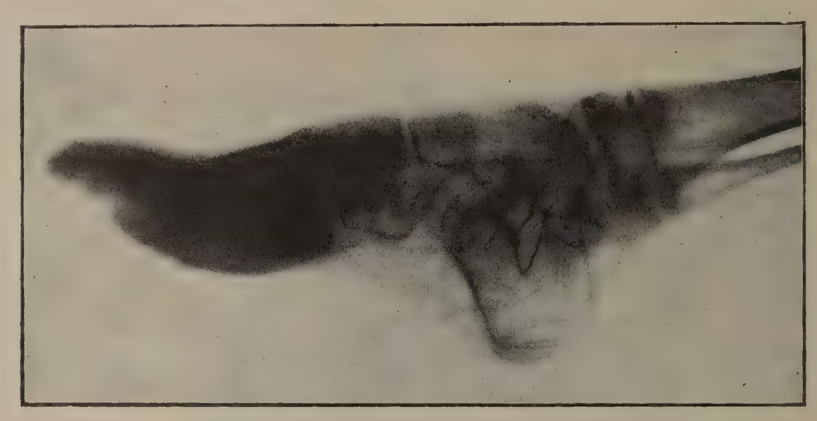


Fig. 5. Observation I. — *Trois ans après l'intervention. La butée persiste. Le pied s'est creusé. Une résection cunéiforme médiotarsienne remettrait le pied en bonne position et le résultat final serait excellent.*

Technique

Nous n'envisagerons ici que l'arthrorise par butées antérieure ou postérieure, laissant systématiquement de côté les butées latérales sur l'indication desquelles nous avons des doutes et dont au surplus nous n'avons pas d'expérience personnelle.

Butées postérieures. — Elles trouvent leurs indications dans les cas de pieds bots paralytiques équins. Cette forme se rencontre rarement pure et est généralement associée à une déformation en valgus ou en varus du pied, suivant que la paralysie ait intéressé, en plus des extenseurs, les muscles péroniers latéraux ou jambier postérieur. Dans ce cas, l'arthrorise doit être complétée par une arthrodèse médio-tarsienne avec résection cunéiforme à base interne ou externe et destinée à corriger la déformation latérale afin d'amener le pied en équinisme pur. Eventuellement, il sera nécessaire de faire une élongation du tendon d'Achille pour remédier à la rétraction due à la paralysie des muscles antagonistes.

Trois types principaux de technique ont été proposés pour l'arthrorise avec des modifications plus ou moins intéressantes pour chacun. Nous n'en examinerons que les grandes lignes.

1° *Technique de Toupet.* — Cet auteur prélève un greffon sur la crête tibiale du côté sain ; ce greffon est introduit dans un tunnel foré obliquement l'avant en arrière et de haut en bas et intéressant l'astragale, le calcaneum et le cuboïde, de telle manière que l'extrémité postérieure du greffon reste libre et dépasse l'astragale de un centimètre environ pour former butée contre le tibia. Ce procédé a l'avantage de réaliser en même temps une arthrodèse du tarse et la butée ; il ne nécessite que le dédoublement du tendon d'Achille, sans autre section tendineuse. L'arthrodèse de

torsion qu'il réalise pour le tarse n'est suffisante que dans les cas où la déformation latérale est très peu prononcée.

2° *Technique de Nové-Josserand.* — Par une incision externe et après section temporaire des tendons des muscles péroniers, arthrodèse sous astragalienne, scaphoïdienne, et cuboïdienne. En luxant le pied en dedans, on arrive à ouvrir l'articulation sous-astragalienne, de façon à voir apparaître la facette postérieure du calcaneum. Un fragment est alors taillé dans cette facette par un trait de ciseau porté obliquement d'avant en arrière et légèrement de haut en bas, de manière à ménager, à la partie postérieure, un pédicule autour duquel on fera pivoter le fragment ainsi créé, de manière à l'insérer entre le tendon d'Achille et la tibiotarsienne pour former butée. Ce procédé a l'avantage de créer une excellente arthrodèse sous-astragalienne et une butée efficace, mais le pivotement du greffon autour de son axe constitue certainement un temps délicat.

3° *Technique de Campbell.* — Elle consiste à empiler, dans une gouttière creusée à la face supérieure du calcaneum, entre la mortaise et le tendon d'Achille, une série de débris ostéo-cartilagineux qui ont été réservés au cours de l'arthrodèse médiotarsienne. Une variante de cette méthode consiste à relever d'arrière en avant un volet calcanéen et d'y accumuler des copeaux osseux prélevés sur le calcaneum même. L'inconvénient de cette méthode est la très grande lenteur de consolidation de la butée ainsi créée.

Nous ne signalerons que pour mémoire les techniques de Rocher, qui crée une butée au moyen d'une cheville d'ivoire, et celle de CAMERA (greffon osseux implanté dans l'astragale).

Arthrorise antérieure. — Elle trouve ses indications dans les cas de pieds ballants talus ; sa technique en a été réglée par Putti. Longue incision verticale et antérieure permettant à la fois l'accès à l'articulation tibiotarsienne et le prélèvement d'un greffon sur la face antérieure du tibia. Ce greffon est implanté dans l'astragale en lui ménageant une partie saillante de un à un centimètre et demi de long. Le reproche que l'on pourrait faire à cette méthode est de prélever un greffon sur le membre paralysé ; les troubles trophiques qui accompagnent toujours ces paralysies nous font préférer le prélèvement du greffon osseux sur le membre sain.

Résultats

Il est intéressant de savoir ce que devient le greffon. Dans la revue italienne *Chirurgie des Organes du Mouvement*, FALDINI, en 1926, donne une longue description d'un astragale dans lequel était inclus depuis quatre ans un greffon, et qui avait dû être enlevé secondairement : la section longitudinale de l'os montrait la fusion complète du greffon au niveau de son implantation. L'examen microscopique en était des plus intéressant et démontra que la fusion avec le tissu astragalien était complète. La partie libre du greffon était revêtue de tissu conjectif dense dans lequel étaient visibles des cellules cartilagineuses en rapport avec le tissu osseux du greffon, et présentant des processus d'ossification. Ce transplant riche en sel

de Ca, était donc bien vivant, nourri par de nombreux vaisseaux et constituait, par sa composition et sa force, une véritable apophyse articulaire.

Cette constatation répond aux objections qui ont été faites à la méthode et à la question de savoir si le greffon vit.

Campbell accuse 15,5 % d'échecs, soit par résorption, soit par défaut de consolidation dû aux nombreux fragments osseux.

Nové-Josserand croit que la résorption serait due à une trop grande longueur du greffon, ou à l'inutilisation fonctionnelle.

Au contraire, la plupart des observations montrent que le greffon s'adapte à sa fonction en s'hypertrophiant et que les os supportent parfaitement bien cet hôte étranger.

Observations personnelles

Observation I. — Dorothée D..., 7 ans, paralysie flasque de la jambe gauche, consécutive à des convulsions que l'enfant aurait eues à l'âge de 6 mois. Les fléchisseurs et les péroniers latéraux ne répondent plus à l'excitation électrique. Le pied est ballant, valgus équin ; la marche est extrêmement difficile. Atrophie musculaire marquée et raccourcissement de 4 cm



Fig. 6. Observation I. — *Trois ans après l'intervention. On voit la déformation du pied gauche ; la malade avait été perdue de vue pendant ces trois ans.*

La malade est opérée le 6 avril 1927 sous narcose chloroformique. Garrot. Incision externe curviligne partant de la tête de l'astragale pour aboutir à la malléole externe. Le tendon d'Achille est sectionné en baïonnette ; les tendons des péroniers latéraux sont coupés. Ouverture de l'articulation astragalo-calcanéenne ; enlèvement des cartilages au bistouri ; résection cunéiforme de la tête de l'astragale. Nous obtenons ainsi une excellente correction de la déformation du pied en valgus. Taille à la manière de Nové-Josserand, d'une butée à la partie postérieure du calcaneum ; cette butée à charnière postérieure est basculée en arrière et insérée entre la mortaise tibio-tarsienne et le tendon d'Achille. L'arthrodèse sous-astragalienne est assurée au moyen d'un fil de bronze passé en U au travers de l'astragale et du calcaneum. Les tendons des péroniers latéraux sont suturés au périoste par des points en V au fil de soie. Le tendon d'Achille est suturé également au fil de soie, mais de manière à avoir été allongé pour permettre la correction de l'équinisme. Enlèvement du garrot. Suture de la peau au crin de Florence. Appareil plâtré.

Les suites opératoires sont tout à fait normales. La plaie saigne un peu au travers du plâtre.

Le 21 mai, soit six semaines après l'intervention, on enlève le plâtre ; le résultat immédiat est excellent ; l'enfant commence à marcher et quitte l'hôpital le 6 juin ayant tiré un gros bénéfice de l'intervention.

Nous la perdons malheureusement de vue et, malgré tous les efforts de nos infirmières visiteuses, notre opérée ne se présente à nous que plus de trois ans après sa sortie de l'hôpital. La photographie, prise récemment,

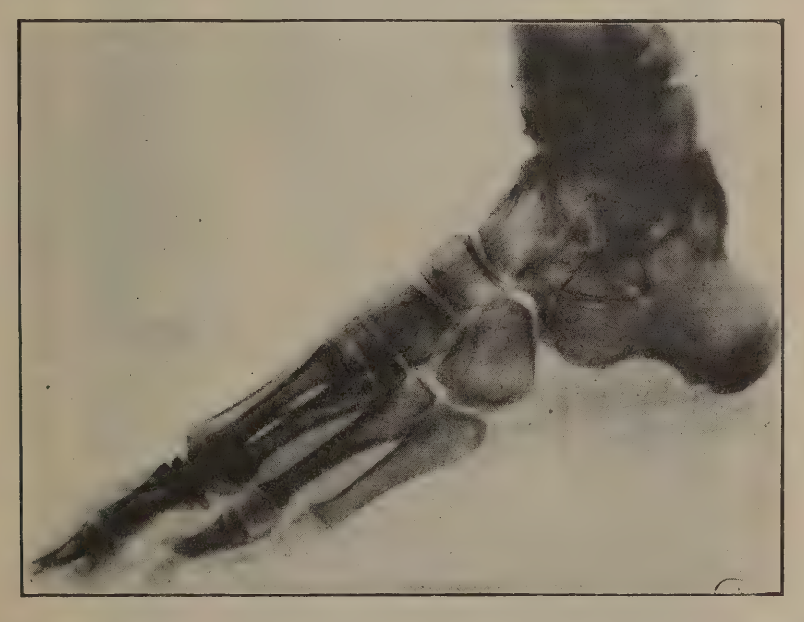


Fig. 7. Observation II. — *Trois ans après l'opération. Technique de* Nové-Josserand. *A remarquer le développement énorme de la butée. Le résultat opératoire est parfait.*

montre le résultat désastreux qu'a amené un manque de surveillance post-opératoire. L'avant-pied s'est déformé et rend la marche difficile ; ce mauvais résultat est imputable uniquement à la coupable négligence des parents. L'examen des radiographies faites à trois ans d'intervalle est plein d'intérêt : la butée existe toujours, elle s'est épaissie à la base, ce qui est une preuve de son activité fonctionnelle ; l'arthrodèse sous-astragalienne a été efficace et l'astragale ne forme plus qu'un avec le calcaneum ; remarquons que notre fil de bronze a été parfaitement toléré et ne gêne nullement la malade. La déformation actuelle porte uniquement sur le tarse antérieur ; elle aurait pu être évitée en surveillant la malade ; actuellement elle pourrait efficacement être corrigée par une arthrodèse tarsienne, avec peut-être, résection cunéiforme pour corriger le pied creux et, ainsi, nous exploiterions pleinement le bénéfice de l'arthrorise qui a été pratiquée il y a trois ans.

Observation II. — Thérèse B..., âgée de 7 ans et demi, nous est amenée pour séquelles d'une poliomyélite contractée à l'âge de 2 ans. Paralysie flasque du pied gauche ballant varus-équin. Les réflexes tendineux sont abolis à gauche et l'excitation électrique ne provoque pas de contractions. L'enfant marche avec de grandes difficultés dues à la chute du pied qui l'oblige à faucher.

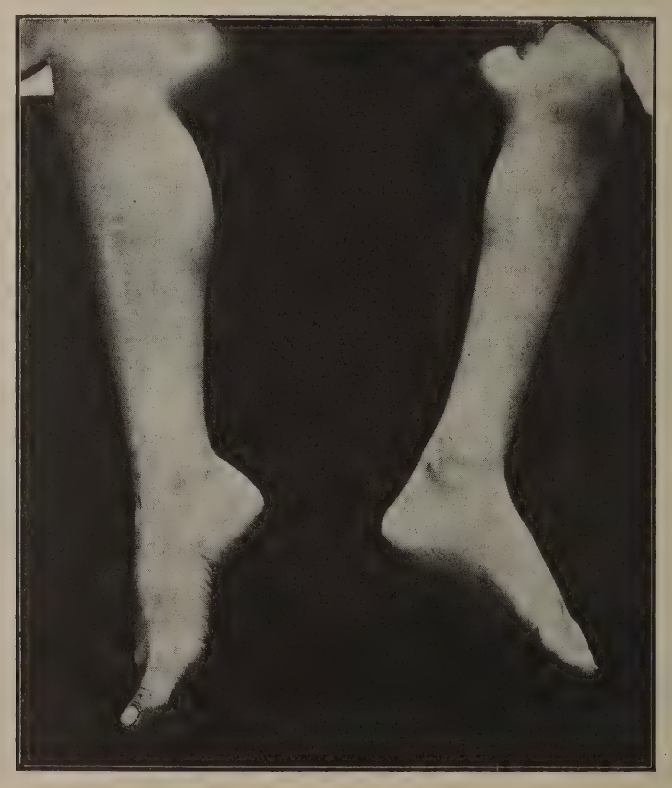


FIG. 8. Observation II. — *Trois ans après l'intervention. L'extension du pied paralysé est limitée à 95° ce qui permet une marche très aisée.*

Le 29 avril 1927, intervention sous narcose chloroformique. Garrot. Incision curviligne partant de la tête de l'astragale, contournant la malléole et remontant de quelques centimètres le long du tendon d'Achille. Elongation du tendon d'Achille par quatre petites incisures latérales. Section des tendons péroniers au niveau de l'insertion du court péronier latéral. Ouverture de l'articulation sous astragalienne, les surfaces articulaires sont avivées au bistouri. Taille suivant la technique de Nové-Josserand d'une butée calcanéenne à charnière postérieure. Au cours des manœuvres de basculement, la charnière se brise en partie, mais la butée tient encore suffisamment au calcaneum et peut être insérée entre le tendon d'Achille et la mortaise tibio-tarsienne.

Un fil de bronze en U assure l'arthrodèse astragalo-calcanéenne. Suture au fil de soie des tendons péroniers et crins à la peau. Plâtre pendant six semaines. Le 13 juin 1927, le plâtre est enlevé ; le pied est en excellente position ; l'enfant quitte l'hôpial et vient se représenter régulièrement de trois en trois mois à la consultation.

Une radiographie faite trois ans après l'opération montre que la butée s'est considérablement hypertrophiée et que sa base d'implantation sur la calcaneum s'est élargie. Sa calcification est une preuve de son activité fonctionnelle.

L'arthrodèse sous astragalienne est parfaite et les os sont complètement soudés ; le fil de bronze a été bien toléré ; il s'est rompu par suite de la croissance des os. Le pied a conservé une grande souplesse grâce à la persistance du fonctionnement des articulations médio-tarsiennes. La butée limite l'extension du pied sur la jambe à 95°. L'enfant marche bien et n'est plus gênée par l'équinisme du pied.

Conclusions

Nous avons, dans ces deux cas, donné la préférence à la technique de Nové-Josserand. Il nous paraît, en effet, plus simple de prélever le greffon sur le calcaneum même et d'éviter le prélèvement sur le tibia. De plus, et c'est l'argument qui, à notre sens, a le plus de valeur, un greffon constitué par du tissu calcanéen nous paraît mieux adapté à se développer sur le calcaneum, puisqu'il est formé de tissu osseux de consistance identique. Les chances de vitalité d'une butée ainsi créée paraissent beaucoup plus grandes que pour un greffon tibial implanté, puisque cette butée conserve avec le calcaneum un pédicule dont l'avantage, au point de vue nutrition, n'est pas niable. Ces avantages compensent largement le temps un peu délicat que constitue le pivotement de la butée sur son axe ; il suffit d'ouvrir largement l'articulation sous-astragalienne pour réduire cette difficulté à son minimum.

Nous n'avons pas pratiqué, comme le conseille Nové-Josserand, d'arthrodèse médio-tarsienne (cuboïde et scaphoïde), l'arthrodèse sous-astragalienne, qui, elle, est indispensable, nous ayant dans nos deux observations paru suffisante du fait du peu de déformations latérales. Nous avons eu raison de le faire dans notre deuxième cas ; nous avons ainsi laissé un

pied dont la souplesse est parfaite. Mais nous avons eu tort de ne pas pratiquer cette arthrodèse médio-tarsienne dans notre premier cas ; nous aurions évité la déformation secondaire qui s'est produite au cours des trois années où nous avons perdu l'enfant de vue.

L'arthrorise tibio-tarsienne est une excellente opération appelée à rendre des services de plus en plus grands dans le traitement des séquelles des paralysies du membre inférieur. Nous donnons la préférence à la technique de Nové-Josserand. Si on peut éviter l'arthrodèse médio-tarsienne, on aura un pied beaucoup plus souple et s'adaptant mieux à la marche.

TRAVAUX CONSULTES :

Camera, *L'arthrorise antérieure de l'articulation tibio-astragalienne dans le traitement de la paralysie flasque du membre inférieur* (*Archivio di Ortopedia*, 1926).

Campbell, *Une opération pour corriger le pied tombant* (*Journ. of bone and joint Surgery*, 1923).

Faldini, *Comment se comporte le greffon osseux dans l'arthrorise tibio-tarsienne* (*La chirurgia degli Organi di Movimento*, 1926).

Del Torto, *L'arthrorise sous-malléolaire dans le traitement du pied varus ou valgus paralytique ;* Congrès de la Société Italienne d'Orthopédie, 1927.

Guibal et Marchand, *L'arthrorise tibio-tarsienne* (*Revue d'Orthopédie*, mai 1930).

Mezzari, *L'arthrorise tibio-astragalienne selon Putti* (*La chirurgia degli Organi di Movimento*, 1924).

Nové-Josserand, *Arthrodèse sous-astragalienne avec butée osseuse dans le pied paralytique* (*Revue Orthopédie*, 1925).

Ombrédanne, *Les arthrodèses du pied* (Rapport) Congrès d'Orthopédie ; Strasbourg, octobre 1921.

Ombrédanne, *Sur le prélèvement des greffons destinés à établir des butées astragaliennes* (*Presse Médicale*, 1929).

Rocher, *Butée osseuse de blocage dans l'équinisme des amputations partielles du pied ;* Congrès d'Orthopédie, Paris, 1926.

Roberts, *La conservation des muscles dans le pied bot paralytique* (*Jour. of bone and joint Surgery*, janvier 1923).

Toupet, *Technique d'enchevillement du tarse réalisant l'arthrodèse de torsion et la limitation des mouvements d'extension du pied* (*Journ. de Chirurgie*, 1920).

RÉDUCTION SOUS-CUTANÉE DE FRACTURE, AVEC DÉPLACEMENT DE LA TÊTE HUMÉRALE

par le Docteur Émile MOONS, d'Anvers

Dans les fractures de la tête humérale, qui se produisent généralement à la suite de chutes sur le coude, il y a très souvent pénétration du corps de l'humérus dans la tête spongieuse et, dès lors, si la déviation de la tête n'est pas considérable, aucune réduction ne devra être tentée, et la mobilisation précoce sera le seul traitement à établir.

Si toutefois la tête fracturée, au lieu de rester dans sa cavité glénoïde, a basculé sous l'effort de la diaphyse humérale fracturée et s'est déplacée de son axe naturel, présentant sa surface articulaire vers l'un des côtés de

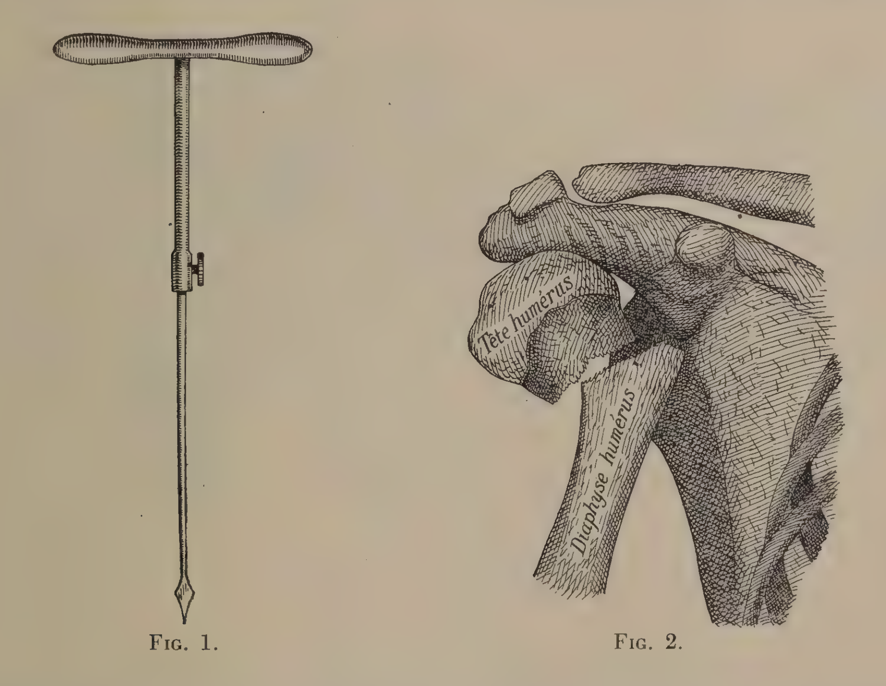


Fig. 1. Fig. 2.

l'articulation, ou bien si les fragments osseux se trouvent déplacés transversalement, le devoir du chirurgien est de les rétablir dans leur axe naturel, afin d'éviter une ankylose possible, ou de rendre aux mouvements de l'articulation la plus grande ampleur possible.

N'ayant que peu de prise sur le fragment de la tête humérale fracturée, en employant des manœuvres manuelles extérieures, la réduction, sous anesthésie, des fragments déplacés, par traction du bras vers le bas et refoulement de la tête dans la cavité glénoïde, aura souvent peu de succès. Restent la réduction à ciel ouvert et la suture osseuse, interventions toujours possibles et excellentes pour parer, chez des sujets jeunes, à une capacité réduite des mouvements articulaires.

Mais avant d'employer ces méthodes opératoires, il en est une qui peut être essayée avec moins de frais et de risques pour le malade, c'est la réduction sous-cutanée.

Voici comment nous nous y sommes pris pour la réaliser.

La malade dont nous parlons ici est une femme d'environ cinquante ans, très grasse et qui s'était, par chute sur le coude, fracturé la tête humérale. L'extrémité distale de la surface diaphysaire fracturée prend contact par son bord externe au milieu de la surface fracturée de la tête humérale, qui tourne sa surface articulaire un peu en dehors (fig. 2), l'extrémité supérieure fracturée de la diaphyse est déplacée en dedans.

Des tentatives de réduction infructueuses nous ont amené à remettre la malade sous anesthésie générale et à tenter la réduction du déplacement de la façon suivante :

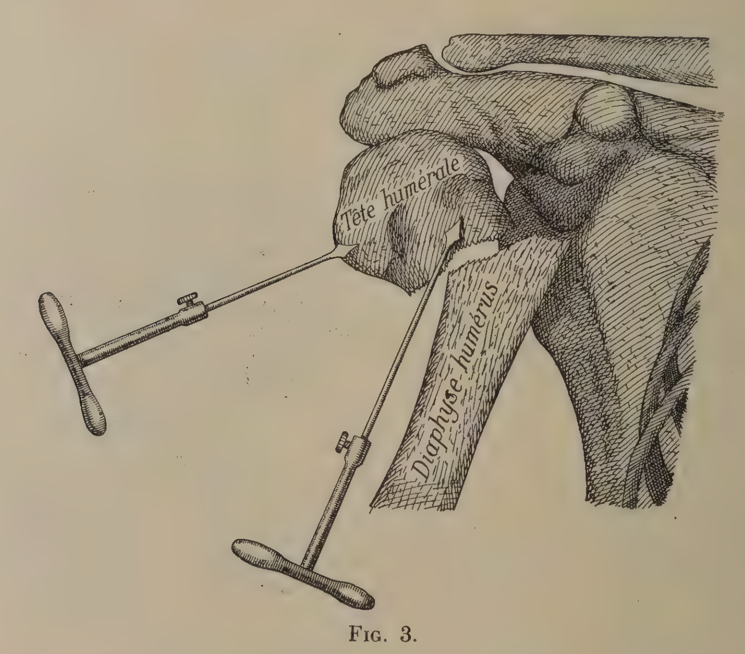


Fig. 3.

La peau de l'épaule est désinfectée comme pour une opération. A la face antérieure et à la face externe de l'épaule à la hauteur de la tête humérale déplacée nous faisons à chacune de ces places, une petite incision d'un centimètre de long n'entamant que la peau. A travers chacune de ces incisions nous plantons dans la surface de la tête humérale une tige métal-

lique terminée en pointe de trocart munie d'une bonne poignée (fig. 1) à son autre extrémité.

Nous nous assurons que les tiges sont bien en place. De cette façon, nous avons une prise solide sur la tête humérale déplacée (fig. 3).

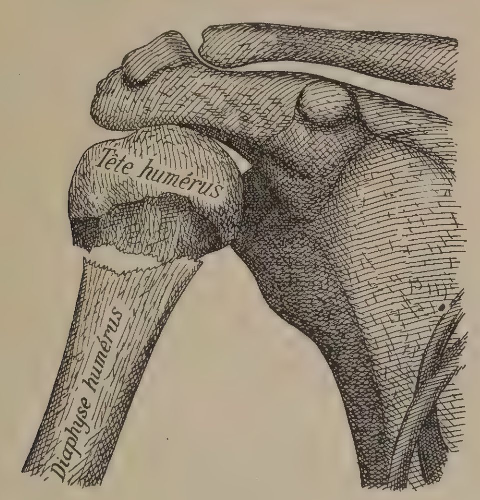


Fig. 4.

Faisant exécuter la traction longitudinale vers le bas, sur la diaphyse humérale, tout en lui imprimant de légers mouvements de rotation à droite et à gauche, et en attirant en dehors son extrémité supérieure nous avons réussi facilement à refouler la tête humérale dans sa cavité glénoïde, et lâchant la traction du bras, nous avons pu constater que la tête, s'engrenant avec la diaphyse, suivait les mouvements de celle-ci. La radiographie faite après la manœuvre, démontre une correction très bonne de la fracture (fig. 4) qui se confirme à la stéréoscopie. Il y a donc lieu, dans des cas semblables, de songer à ce moyen de réduction tout à fait simple, avant d'entreprendre une thérapeutique plus conséquente.

SYNDROME DE DEITERS PAR LÉSION ISOLÉE ET PRIMITIVE DES NOYAUX VESTIBULAIRES

par le Dr de STELLA

Professeur à l'Université de Gand.

Rappel d'Anatomie.

Il sera intéressant de résumer ici nos conceptions modernes sur la constitution anatomique de l'appareil vestibulaire, car ces notions nous feront mieux comprendre les phénomènes cliniques propres à une lésion de cet appareil.

L'organe vestibulaire central est constitué par diverses masses grises accolées les unes aux autres et réparties dans le plancher du quatrième ventricule. Parmi ces masses nous comptons, dans l'angle latéral du plancher du quatrième ventricule, le noyau de Bechterew, plus bas le noyau de Deiters, riche en grosses cellules, plus bas encore le noyau principal de la racine vestibulaire ; ces derniers, qui font suite au noyau de Deiters, sont appelés encore noyau descendant et noyau triangulaire.

Van Gehuchten, père et fils, contredits du reste par beaucoup d'autres auteurs, (Victor Cheval, Magnus et De Kleyn, de Stella), y ajoutent le noyau du toit du cervelet comme faisant partie de l'organe vestibulaire central. Déjà antérieurement, les expériences de Magnus et de De Kleyn avaient prouvé que tous les réflexes labyrinthiques persistent après extirpation du cervelet. Nous avons répété ces expériences à maintes reprises chez le singe, soit en extirpant le cervelet d'un côté, soit en l'extirpant complètement. Dans le premier cas, les réflexes labyrinthiques du côté extirpé, comparés avec ceux du côté cérébelleux laissé intact, sont absolument identiques. Du reste, en clinique humaine, il en est absolument de même.

J'ai pu, au cours de lésions graves du cervelet (tumeurs, abcès, lésions traumatiques), observer des réflexes labyrinthiques normaux. Les quelques symptômes labyrinthiques observés au cours de lésions cérébelleuses sont dus non pas à une lésion du centre hypothétique vestibulaire dans le toit, mais à la compression exercée par un cervelet malade sur les vrais noyaux vestibulaires dans le plancher du quatrième vestibule. Barany nous dit que le réflexe vestibulaire, — grâce auquel nous voyons dévier par exemple notre doigt et notre membre supérieur tout entier lors d'une lésion (irritative ou destructive) du nerf vestibulaire, — passe par le noyau du toit du cervelet. Or, cela est parfaitement controuvé dans maints cas cliniques où

le symptôme vestibulaire de la déviation persiste malgré des lésions graves du cervelet. Ne l'ai-je pas vu persister chez une personne qui avait perdu la totalité de son hémisphère cérébelleux droit ?

Je tiens encore à faire remarquer ici, que le Dr Van Gehuchten, de Bruxelles, dans un travail récent : *Recherches expérimentales sur les terminaisons du nerf vestibulaire et sur les voies vestibulaires centrales*, arrive à cette conclusion : « Le noyau descendant, le noyau triangulaire, le noyau de Bechterew et le noyau du toit du cervelet sont les noyaux de terminaison du nerf vestibulaire, tandis que le noyau de Deiters est un noyau secondaire. »

Ce sont là des données anatomiques dont nous ne contestons pas l'importance, surtout que le travail de Van Gehuchten nous donne beaucoup de garanties de précision. Mais cependant, je dois à la vérité de relever que mes observations cliniques chez l'homme et mes expériences chez le singe ne confirment pas le résultat des recherches anatomiques de Van Gehuchten.

En clinique, j'ai vu un homme atteint d'un kyste de l'hémisphère cérébelleux gauche : il présentait un symptôme vestibulaire complet, (nystagmus spontané, déviations spontanées très marquées). A l'autopsie, on a pu observer que le kyste cérébelleux comprimait les noyaux vestibulaires et plus spécialement le noyau de Deiters qui semblait étouffé, annihilé. Quand, chez le singe, au cours de nos nombreuses expériences sur le cervelet, il nous arrivait de toucher et de léser le noyau de Deiters, la réponse vestibulaire devenait très nette.

Enfin, je désire appeler l'attention sur un détail d'anatomie, à mon avis très important et sur lequel les anatomistes, à part peut-être Van Gehuchten père, n'ont pas assez insisté : c'est une certaine autonomie et indépendance anatomique entre les divers noyaux vestibulaires. Cette indépendance anatomique a reçu une véritable consécration clinique.

Nous croyons avoir signalé le premier en 1927, (séance du Groupement Neuro-Otologique belge) la dissociation du syndrome vestibulaire. Il s'agissait, en deux mots, d'une jeune fille qui fit une encéphalite léthargique très grave. Elle présentait un nystagmus spontané excessif dans toutes les positions de l'œil, nystagmus qui ne pouvait être influencé par aucune réaction labyrinthique ; or, chez cette fille, il n'y avait pas de paralysies oculaires, donc les noyaux oculo-moteurs étaient intacts ; de plus, les réactions labyrinthiques (calorique et au fauteuil tournant) amenaient des déviations classiques dans les membres, et encore, la tendance à la chute. La lésion siégeait ici manifestement dans une partie des noyaux vestibulaires (probablement le noyau de Bechterew qui donne un faisceau ascendant passant avec le faisceau longitudinal à travers le mésencéphale pour finir dans les noyaux oculo-moteurs) ; c'est le faisceau vestibulo-mésencéphalique. Une autre partie des noyaux vestibulaires, probablement le noyau de Deiters où partent des fibres descendantes qui traversent le bulbe et se poursuivent à travers la moelle jusqu'aux parties inférieures pour former le faisceau Deitero-vestibulo-spinal, devait être restée intacte.

Il y a donc ici la suppression du réflexe vestibulo-oculaire, combinée avec la persistance des réflexes vestibulo-spinaux ; or, cette dissociation vestibulaire, à mon avis, ne se comprendrait pas si on n'admettait pas une certaine autonomie et indépendance anatomique entre les diverses masses grises qui constituent les noyaux vestibulaires.

Depuis, en 1928 et encore en 1929, au Congrès belge d'oto-rhino-laryngologie, le Dr Camberlin [1] nous a relaté divers cas de dissociation vestibulaire. A ce propos, le professeur Quix, d'Utrecht, dit avoir trouvé la même dissociation vestibulaire que Camberlin, cas qui furent communiqués à la Société néerlandaise d'oto-rhino-laryngologie. Nous aurons à revenir sur cette dissociation dans la description de nos cas de syndrome Déitérien.

Rappel de physiologie de l'organe vestibulaire

Tout trouble, soit fonctionnel, soit lésionnel dans l'organe vestibulaire, soit dans sa partie périphérique (labyrinthe et nerf vestibulaire), soit dans sa partie centrale (noyaux vestibulaires) déclanche une série de réflexes dont l'ensemble constitue le syndrome vestibulaire. Nous notons ici l'action de ces réflexes sur les yeux (déviations, nystagmus, paralysies), sur la musculature de la tête, du tronc et des membres (déviations diverses dont le « Vorbeiziegen » de Barany est la plus classique) ; ajoutez à ces réflexes l'état nauséeux et le malaise général (signe infidèle) et enfin la tendance à la chute ou le vertige et vous avez le syndrome vestibulaire complet. Souvenons-nous du rôle essentiel que joue l'appareil vestibulaire dans la conservation de notre équilibre, bien qu'il soit admissible que cette très importante fonction n'est pas uniquement et exclusivement régie par l'organe vestibulaire ; sans doute certaines voies cérébelleuses et les voies de la sensibilité profonde et peut-être d'autres encore interviennent ici pour une certaine part.

Pathologie

Il est très facile de déduire de nos connaissances physiologiques le syndrome pathologique vestibulaire, ce syndrome comprenant toute une série de troubles des réflexes vestibulaires.

1° Du côté des yeux, nous noterons : le nystagmus spontané horizontal ou rotatoire, les paralysies oculaires. Certains auteurs admettent la possibilité de la parésie ou de la paralysie de certains muscles oculaires avec des variétés d'ophtalmoplégie, par des lésions uniquement localisées dans l'appareil vestibulaire central. Il est assez probable que les ophtalmoplégies, qui accompagnent les lésions des noyaux vestibulaires, sont dues à des lésions concomitantes du faisceau longitudinal postérieur ou même des noyaux oculo-moteurs.

2° Les déviations kinétiques portent sur la tête, le tronc et les mem-

(1) *Bulletin Soc. Belge d'Otologie, de Rhinologie et de Laryngologie*, Congrès du 12 février 1928, pp. 100-104 ; *Journal Belge d'Oto-Rhino-Laryngologie*, n° 5, pp. 343-345, septembre-octobre 1929.

bres : le « Vorbeizeigen » est ici le signe le plus classique ; notons ici également le « Fallneigung " du patient ou tendance à la chute du côté inhibé de l'appareil vestibulaire.

3° Le vertige et la perte de l'équilibre. Nous savons tous que ce vertige d'origine vestibulaire est surtout subjectif, le malade a l'impression que les objets se déplacent, il a la sensation pénible de tournoiement et ce vertige peut aller jusqu'à l'effondrement du sujet (vertige de Ménière).

4° Ajoutons à ce syndrome quelques signes accessoires, tels le malaise général, les nausées et le vomissement ; ces derniers ne sont pas de vrais signes vestibulaires ; ils semblent plutôt dus à une union, par un petit faisceau spécial, entre les noyaux vestibulaires et le noyau du vague. Dès lors, le trouble vestibulaire aurait sa répercussion sur le vague.

Etiologie

Nombreuses sont les causes qui peuvent amener le syndrome vestibulaire ; parmi ces causes, les unes sont simplement fonctionnelles, les autres lésionnelles..

Dans cette communication, nous envisageons uniquement le syndrome vestibulaire provoqué par un trouble ou une lésion qui s'attaquent exclusivement aux noyaux vestibulaires avec exclusion de toute autre partie du système nerveux central.

Un mot seulement des troubles vestibulaires fonctionnels, d'origine centrale. Comme pathogénie, nous pouvons dire que la grande majorité (si nous exceptons les cas de vertiges purement psychiques) sont d'origine et de nature toxiques. Le noyau vestibulaire compte parmi les organes les plus sensibles de tout notre système nerveux, à toutes espèces d'agents toxiques. Déjà ils réagissent en créant du vertige à la moindre intoxication alimentaire ; ils sont aussi extrêmement sensibles envers l'oxyde de carbone. Dans ce dernier cas, une intoxication quelque peu prolongée peut amener un syndrome vestibulaire complet. En voici un exemple : un homme âgé de 50 ans, chauffeur de chaudière dans une usine à gaz, entre à la Clinique avec les symptômes suivants : nystagmus spontané dans les positions latérales extrêmes des yeux et cela dans le sens de la position ; déviations kinétiques des membres tantôt à droite, tantôt à gauche, tendance à la chute, toujours dans le sens de la déviation des membres. Le patient se plaint en outre de nausées.

Un examen complet ne révèle aucun trouble ni aucune lésion dans un organe quelconque, aucune anomalie dans le système nerveux central. Le syndrome vestibulaire que le patient présente semble donc bien limité à l'appareil vestibulaire. Nous interrogeons le nerf vestibulaire ; il répond normalement à toutes les épreuves (l'épreuve calorique de Barany, le fauteuil tournant, la galvanisation) ; l'ouïe est normale des deux côtés et il n'y a pas de bourdonnements.

Nous pouvons donc admettre que le syndrome vestibulaire, chez notre patient, est d'origine centrale et qu'il s'agit bien d'un trouble autonome et primitif localisé exclusivement dans les noyaux vestibulaires. Il s'agis-

sait bien d'un trouble fonctionnel, car au bout de six semaines d'hospitalisation, nous avons vu disparaître un à un tous les signes de syndrome vestibulaire L'oxyde de carbone pouvait être incriminé, car ce patient, jusque deux fois, après avoir été blanchi à l'hôpital, reprit son travail et deux fois il fit une récidive de son syndrome vestibulaire. Après ces deux épreuves constituant une véritable expérience de laboratoire, cet homme quitta définitivement son travail de chauffeur et ne récidiva plus dans sa maladie.

Nous nous étendrons plus longuement sur le syndrome vestibulaire amené par des lésions des noyaux vestibulaires. Nous pouvons affirmer — et ici nous parlons d'expérience personnelle, ayant pu observer et étudier des centaines de cas d'affections organiques du système nerveux central, — que dans le cerveau tout entier il n'y a pas d'endroit plus vulnérable que les noyaux vestibulaires, que par suite, il n'y a pas de syndrome nerveux plus fréquent que le syndrome vestibulaire amené par les lésions de cet organe, que ces lésions soient primitives, isolées, localisées exclusivement dans l'appareil vestibulaire central, ou soient secondaires, symptomatiques d'une autre affection du système nerveux central et concomitantes avec des lésions dans d'autres parties du système nerveux central. Nous ne parlerons pas spécialement de ces dernières dans ce travail. Depuis longtemps, nous connaissons la participation fréquente des noyaux vestibulaires aux lésions étendues à l'axe cérébro-spinal tout entier dans le tabès et la sclérose en plaques. Bien rares sont les cas d'encéphalite léthargique où les noyaux vestibulaires ne sont pas envahis. Du reste, nous préparons une étude approfondie de la participation des divers noyaux vestibulaires aux lésions, dans diverses affections du système nerveux central (l'encéphalite léthargique, la sclérose en plaques, le tabès, la polio-encéphalite aiguë). Nous sommes arrivés à des constatations très intéressantes et l'étude du syndrome vestibulaire qui, à première vue, semble noyé et perdu parmi tous les autres symptômes de l'affection nerveuse, offre cependant la plus grande importance pour le diagnostic et la localisation de ces affections nerveuses.

Mais dans ce travail, nous ne voulons envisager que le seul syndrome vestibulaire autonome, isolé, amené par des lésions primitives autonomes et isolées des noyaux vestibulaires à l'exclusion de l'appareil vestibulaire périphérique. Il s'agirait pour ainsi dire d'une maladie autonome dégagée de toutes contingences et qui pourrait prendre rang dans le cadre nosologique sous le nom de syndrome de Deiters.

Diagnostic

Rien n'est plus facile que de dire : nous sommes placés devant le syndrome vestibulaire ; mais la difficulté commence quand il faut faire la démarcation clinique entre les diverses parties constituantes de l'appareil vestibulaire, la partie périphérique (labyrinthe et nerf vestibulaire) et la partie centrale (les noyaux) ; car la lésion de chacune de ces parties peut créer le syndrome vestibulaire plus ou moins complet ; or, ici, nous consi-

dérons uniquement le syndrome vestibulaire d'origine centrale. En d'autres termes, s'il est facile de dire qu'il y a une lésion vestibulaire, il est parfois très difficile de connaître l'endroit de la lésion.

Je suppose donc que l'axe réflexe soit rompu : où s'est faite la rupture ? Nous devons tenir compte pour ce diagnostic topographique des signes subjectifs et objectifs. Généralement, si la lésion siège dans le labyrinthe, il y a ou il y a eu une otite destructive ; la cochlée participe au désastre et il y a surdité, bourdonnements et tous les signes d'une labyrinthite à l'examen objectif. Les épreuves caloriques et le fauteuil tournant ne peuvent plus provoquer des réactions normales et ne changent rien au nystagmus spontané existant, si bien entendu ces épreuves s'adressent au labyrinthe détruit.

Aussi longtemps que le nerf vestibulaire est intact, alors même que le labyrinthe est détruit, le courant galvanique peut amener un nystagmus normal et des déviations normales. Par contre, si la lésion est centrale, aucune réaction, ni calorique, ni le fauteuil, ni le courant galvanique ne peuvent amener un changement dans le nystagmus spontané et les déviations existantes. Bien entendu, il faut nettement exclure toute lésion des noyaux oculo-moteurs, car dans ce cas le nystagmus réactionnel ferait également défaut.

Ici, je dois rappeler l'attention du lecteur sur un phénomène très intéressant et de haute valeur pour le diagnostic topographique de la lésion. Nous voulons parler de la dissociation vestibulaire qui semble bien reposer sur une certaine autonomie anatomique et indépendance entre elles des diverses masses grises qui constituent l'organe vestibulaire central, autonomie et dissociation qui, en clinique, sont certaines. Nous avons déjà signalé plus haut le cas d'une jeune fille qui fut atteinte d'encéphalite léthargique et où manifestement le réflexe oculo-moteur labyrinthique était supprimé avec conservation du réflexe vestibulo-spinal. Nous pourrions multiplier ces exemples qui démontrent qu'une lésion peut mordre dans une partie des noyaux vestibulaires tout en respectant les autres parties. Nous avons observé deux variétés de dissociation, comme du reste Camberlin, l'une se traduisant par la conservation d'un réflexe vestibulo-oculaire normal avec suppression des réflexes vestibulo-spinaux ; l'autre se caractérisant par la suppression du réflexe vestibulo-oculaire avec conservation des réflexes vestibulo-spinaux. Nous devons faire remarquer que nous avons observé plus fréquemment la seconde variété.

Je disais donc que cette dissociation, quelle qu'en soit d'ailleurs la variété, acquiert une haute valeur pour le diagnostic topographique de la lésion et notamment pour différencier une lésion vestibulaire centrale d'une lésion vestibulaire périphérique. Ce signe marque d'une façon certaine une lésion centrale, car la dissociation vestibulaire ne peut pas se comprendre avec une simple lésion soit du labyrinthe soit du nerf vestibulaire.

Description de quelques cas cliniques choisis parmi les plus démonstratifs

Cas I. — A. Sp. Anamnèse : homme âgé de 38 ans ; aucun antécédent héréditaire ou personnel digne de remarque, il se plaint de vertige, qui a commencé il y a dix mois et qui s'est aggravé au point que son travail de charpentier lui est devenu difficile. Parfois, le matin, il se plaint d'un vomissement ; il n'accuse pas de bourdonnements, ni de surdités.

Examen objectif : Homme normalement constitué sans tare physique ni nerveuse ; le psychisme est intact ; pas de paralysies dans aucun nerf cranien ; pas de tremblements ; la démarche est normale aussi longtemps qu'il ne gagne pas son vertige, qui peut aller jusqu'à l'effondrement du patient, tous les réflexes tendineux et cutanés sont normaux, aucun trouble dans la sensibilité.

Examen de l'œil : Le fond de l'œil est normal, pas de stase dans la pupille, pas de trace de névrite, mais par contre il y a un fort nystagmus, que nous allons analyser :

a) Réactions oculaires spontanées : il y a un fort nystagmus dans toutes les positions de l'œil, sauf la position médiane et cela dans le sens de la position, horizontale dans la position latérale, rotatoire dans le sens vertical.

Ce nystagmus affecte deux caractères essentiels et de haute valeur pour le diagnostic topographique de la lésion. Il est chronique, dure depuis des semaines, puisqu'il commença avec le vertige ; deuxièmement il est rotatoire dans la position verticale. Or, nous savons qu'un nystagmus qui perdure inchangé pendant des mois n'est pas d'origine périphérique (labyrinthe ou nerf vestibulaire) mais d'origine centrale ; d'autre part, la plupart des auteurs s'accordent pour admettre qu'un nystagmus rotatoire est d'origine centrale.

b) Réactions vestibulo-oculaires provoquées :

1° Calorique : l'injection d'eau froide, soit dans l'oreille gauche, soit dans l'oreille droite, n'amène aucun changement du nystagmus existant ; par exemple, si j'injecte de l'eau froide dans l'oreille gauche et si je fais regarder le malade à gauche, j'observe un fort nystagmus gauche ; si je le fais regarder en haut, je détermine son nystagmus rotatoire spontané ;

2° Le fauteuil tournant donne absolument les mêmes résultats, c'est-à-dire, que les dix tours à droite et les dix tours à gauche ne peuvent rien changer au nystagmus spontané ;

3° Le courant galvanique ne change rien au nystagmus spontané.

Conclusion : Il y a rupture complète de l'axe réflexe vestibulo-oculaire ;

Continuons maintenant l'interrogatoire de l'appareil vestibulaire par l'étude des déviations kinétiques chez le patient ;

a) Déviations spontanées : elles n'existent pas chez l'homme où nous avons examiné le vestibule suivant la méthode du professeur Quix, où donc nous avons examiné les divers canaux par le signe de l'index dans les plans respectifs de ces canaux. Or, toutes ces épreuves furent négatives.

Disons encore que, chez notre patient, il n'y avait pas de Romberg,

pas de Fallneigung, donc aucune déviation du tronc en dehors des crises de vertige, bien entendu.

b) Déviations provoquées : 1° Calorique, immédiatement, en un temps normal, nous provoquons des déviations classiques par l'eau froide et l'eau chaude injectée dans l'une ou l'autre oreille ; d'autre part, le Fallneigung est encore classique et obéit aux diverses positions de la tête ;

2° Le fauteuil tournant donne également des déviations classiques ;

3° Courant galvanique : le patient y est si sensible qu'avec 2 milliampères il a la chute classique.

Conclusion : L'arc réflexe vestibulo-spinal est absolument conservé.

Diagnostic : Chez cet homme, normal dans son système nerveux et dans tous ses organes, nous avons nettement un syndrome vestibulaire se caractérisant subjectivement par du vertige, la perte de l'équilibre allant jusqu'à l'effondrement, du nystagmus. Il s'agit bien d'un syndrome isolé sans association d'un autre signe pathologique quelconque.

Quelle est la pathogénie de ce syndrome vestibulaire ?

Nous écartons comme siège de la lésion :

1° Le labyrinthe postérieur. Cet homme n'a jamais souffert d'otite, il n'a pas de bourdonnements et pas de surdité ; or, il est très rare et très exceptionnel qu'il existe une dissociation aussi complète entre le vestibule et la cochlée. D'autre part, il y a un nystagmus spontané qui dure inchangé depuis des mois ; il y a, dans la position verticale de l'œil, un nystagmus rotatoire qu'on ne voit pas dans les lésions vestibulaires périphériques ; enfin, il y a dissociation du syndrome vestibulaire ; il y a suppression du réflexe vestibulo-oculaire avec conservation du réflexe vestibulo-spinal. Ce phénomène est impossible avec une simple lésion périphérique.

2° Le nerf vestibulaire proprement dit. Celui-ci ne peut être mis en cause en raison du nystagmus rotatoire qui n'existe pas dans la seule lésion du nerf, en raison du caractère de durée du nystagmus et en raison de la dissociation du syndrome vestibulaire.

3° Les noyaux vestibulaires. Nous devons localiser la lésion qui, ici, préside à la formation du syndrome vestibulaire dans les noyaux centraux. Le caractère rebelle du nystagmus, son état rotatoire, le fait qu'une irritation ou une inhibition du labyrinthe sain chez le patient ne changent en rien le nystagmus spontané et, enfin, la dissociation du syndrome ne laissent aucun doute sur l'origine centrale des lésions.

Nous pouvons même aller plus loin dans le diagnostic topographique de la lésion. Il y a, chez ce patient, la suppression complète du réflexe vestibulo-oculaire, puisque aucune réaction labyrinthique n'influence encore le nystagmus oculaire existant. Or, nous savons que, parmi toutes les masses grises qui représentent l'organe vestibulaire central, c'est le noyau de Bechterew qui, par son faisceau ascendant passant par le faisceau longitudinal pour se terminer dans les noyaux oculo-moteurs, affecte les connexions les plus intimes avec ces noyaux. La destruction de ce noyau amène d'abord un nystagmus spontané rebelle et en partie rota-

toire comme ici et en plus coupe le réflexe vestibulo-oculaire, au point que plus une seule réaction labyrinthique ne pourra arriver aux noyaux oculo-moteurs. C'est bien ce que nous avons ici.

D'autre part, toutes les réactions labyrinthiques vestibulo-spinales persistent intactes. Or, nous savons que le noyau de Deiters, parmi tous les noyaux vestibulaires, est celui qui, par son faisceau Deitero-spinal direct et Deitero-spinal indirect, est le plus intimement relié avec la moelle épinière. C'est bien par le noyau de Deiters que passe le réflexe vestibulo-spinal. Donc si les réactions vestibulo-spinales sont restées entières, il faut admettre l'intégrité du noyau de Deiters. C'est encore ce que nous avons ici.

Donc, il nous semble que cette déduction clinique repose sur des arguments assez solides pour nous permettre d'établir chez notre patient le diagnostic suivant : syndrome vestibulaire isolé, primitif, par lésion du noyau de Bechterew.

Epilogue : Cette situation resta inchangée pendant des mois, durant lesquels le malade était revu et soigneusement examiné une fois par semaine : puis nous avons assisté à une extension rapide du mal en ce sens que toutes les masses vestibulaires furent prises et nous vîmes disparaître à leur tour les réflexes vestibulo-spinaux : aucune réaction labyrinthique ne parvint encore à amener la moindre déviation, ni la chute classique du malade. Ici, nous trouvons une preuve en plus en faveur de cette théorie, soutenue depuis longtemps par V. Cheval et admise par beaucoup d'auteurs, que les réflexes labyrinthiques ne doivent pas forcément passer par le cervelet comme l'admet Barany, qui dit encore que lors d'une lésion cérébelleuse le réflexe vestibulo-spinal disparaît. Or ici, dans notre cas, il ne fut jamais question de la moindre lésion cérébelleuse et cependant nous avons vu disparaître complètement ce réflexe.

Puis les lésions envahirent le bulbe et l'homme fut enlevé presque brusquement par des accidents bulbaires.

Etiologie : Inconnue ; il n'y avait pas de tuberculose, pas de tumeur, pas de syphilis.

Autopsie : Foyers de sclérose dans les noyaux vestibulaires étouffés dans un tissu de névroglie ; foyers de sclérose mais semblant plus récents dans le bulbe ; rien partout ailleurs.

Nous croyons qu'il s'agissait là d'une variété haute de sclérose en plaque qui a mordu successivement et progressivement dans les noyaux vestibulaires et puis dans le bulbe.

Cas II. — Nous serons plus bref pour la description de ce cas, puisqu'en réalité il constitue pour ainsi dire la répétition du premier. Le patient est un jeune pompier âgé de 25 ans, qui est envoyé à notre Clinique pour examen et diagnostic. Cet homme se plaint depuis plusieurs mois de vertige au point que tout travail en hauteur lui est interdit, car déjà, à plusieurs reprises, le vertige fut accompagné de chute. L'anamnèse nous enseigne

que nous sommes placés devant un jeune patient sans tare familiale ni personnelle. Tous ses organes, examinés soigneusement, sont sains.

L'examen du système nerveux ne révèle aucune anomalie. Il reste donc uniquement chez cet homme le syndrome vestibulaire comprenant : le vertige avec parfois perte complète de l'équilibre, le nystagmus.

Examen objectif : L'organe de l'ouïe ne démontre aucune anomalie ; le malade ne se plaint ni de bourdonnement ni de surdité.

Examen de l'œil : Le fond de l'œil est normal et on ne constate aucune paralysie dans la musculature extrinsèque et intrinsèque ; par contre, il y a un nystagmus horizontal dans les positions latérales extrêmes et dans le sens de la position et un nystagmus rotatif dans le regard en haut.

Examen de l'appareil vestibulaire : Réactions vestibulo-oculaires provoquées. — Nous pouvons enregistrer ici des réactions normales et classiques avec la méthode calorique, le fauteuil tournant et le courant galvanique. Par exemple, avec l'eau froide injectée dans l'oreille gauche nous pouvons neutraliser le nystagmus spontané vers la gauche dans le regard latéral gauche et même provoquer un nystagmus droit, quelle que soit la direction du regard.

Réactions vestibulo-spinales ou déviations kinétiques : Il y avait chez ce malade des déviations spontanées ; ainsi le signe de l'index est largement positif, le malade dévie manifestement à droite. La recherche des déviations provoquées reste complètement négative. Ni l'épreuve calorique, ni le fauteuil tournant ne peuvent rien sur les déviations spontanées existantes ni sur la tendance à la chute à droite. Le courant galvanique lui-même peut être porté à 10 milliampères sans qu'il en résulte la moindre chute ni la moindre déviation.

Diagnostic : Nous avons donc ici un cas manifeste de syndrome vestibulaire fait de vertige, perte de l'équilibre, nystagmus spontané et déviations spontanées avec tendance à la chute toujours vers le même côté droit. Nous pourrions exactement, par le même raisonnement appliqué au cas I, arriver à démontrer que la lésion cause de ce syndrome ne siège ni dans le labyrinthe ni dans le nerf vestibulaire mais dans les noyaux centraux. Nous pourrions également démontrer la dissociation vestibulaire avec conservation de l'arc réflexe vestibulo-oculaire et rupture de l'arc vestibulo-spiral. Nous pourrions enfin, en superposant toutes ces données cliniques aux lésions anatomiques, situer ces dernières exactement dans le noyau de Deiters, d'où part le faisceau vestibulo-spinal, tout en admettant l'intégrité du noyau de Bechterew, d'où part le faisceau vestibulo-mésencéphalique pour aboutir aux noyaux oculo-moteurs et dont l'intégrité, chez ce malade, assure la persistance des réflexes vestibulo-oculaires.

Cas III. — En deux mots, il s'agit ici d'une jeune femme de 22 ans, ouvrière de fabrique qui n'a jamais fait la moindre maladie. Dans son anamnèse elle nous dit que son affection débuta par une danse des yeux qui l'empêchait de fixer son travail. C'était évidemment le nystagmus ;

puis après trois semaines de cette danse désordonnée de ses yeux, elle gagna du vertige et la perte de son équilibre.

L'examen objectif nous démontre encore l'intégrité de tous les organes ; le système nerveux tout entier était intact au moment de notre premier examen. Donc en réalité, il n'y avait en ce moment que le syndrome vestibulaire se caractérisant par :

1° Un nystagmus spontané extrêmement violent : même dans la position médiane l'œil était animé de secousses nystagmiques tantôt horizontales, tantôt rotatoires ;

2° Des déviations kinétiques très prononcées, le « Vorbeizeigen » ou épreuve du doigt est positif ;

3° Une tendance à la chute et un Romberg très prononcé.

Dans ce cas, toutes les réactions labyrinthiques (par la méthode calorique, par le fauteuil tournant) restent parfaitement négatives. Le nystagmus spontané et les déviations existantes ne sont changés en rien. Appliquant, ici encore, les mêmes recherches cliniques et les mêmes raisonnements, nous arrivons à exclure comme siège de la lésion, le labyrinthe et le nerf vestibulaire et nous situons la lésion dans les noyaux centraux vestibulaires. Mais, ici, la lésion semble bien avoir envahi toutes les masses grises qui constituent l'organe vestibulaire central. Toutes nos réactions, toutes nos épreuves partant du labyrinthe et du nerf vestibulaire ne peuvent plus amener le moindre réflexe normal ni vestibulo-oculaire, ni vestibulo-spinal.

Six mois après ces premières constatations chez cette jeune fille, la maladie envahit la mœlle épinière et progressivement s'installa une image clinique complète de la sclérose en plaques (tremblement intentionnel aux membres supérieurs, paraplégie spastique aux membres inférieurs).

Nous avons ainsi choisi parmi nos cas de syndrome vestibulaire, ou syndrome de Deiters, trois variétés : les deux premières avec dissociation vestibulaire différente pour chaque cas et la troisième avec lésion vestibulaire centrale complète.

Les affections comprenant ce syndrome sont extrêmement fréquentes si on prend l'ensemble de ces maladies dues à des troubles fonctionnels passagers et à des lésions organiques définitives. Ces dernières peuvent évoluer longuement et longtemps, complètement isolées et sans participation d'aucune autre partie lésée du système nerveux central. Cependant, dans la majorité des cas, la lésion ne restera pas localisée ni limitée aux seuls noyaux vestibulaires. En effet, il s'agit le plus souvent d'un processus de sclérose, qui ne fait que s'amorcer dans les noyaux vestibulaires, parce que, comme nous l'avons dit en commençant, ceux-ci constituent la partie la plus vulnérable de tout le système nerveux central, mais qui après un certain temps envahit les autres parties du système nerveux central et crée alors une entité morbide complète qu'on appellera la sclérose en plaques.

LES RÉFLEXES VISCÉRO-MOTEURS SOMATIQUES EN CLINIQUE

par le Dr A. LEMAIRE,

Professeur à l'Université de Louvain.

Sous le nom de réflexes viscérogéniques, des cliniciens anglo-saxons désignent les manifestations cliniques de sensibilité consciente et de rigidité musculaire qu'on observe au sein de la paroi somatique au cours des viscéropathies ; les premières représentent les transferts viscéro-sensitifs à la peau, les secondes les réflexes viscéro-moteurs.

Les réflexes viscéro-moteurs sont donc représentés par les rigidités que nous observons en clinique au sein de la musculature pariétale somatique, au niveau du tronc notamment.

Je me propose de vous exposer aujourd'hui la question des réflexes viscéro-moteurs d'un double point de vue ; d'une part leurs modalités cliniques, d'autre part leur comportement vis-à-vis de l'anesthésie sous-dermique de l'aire pariétale où ils apparaissent.

Et tout d'abord ces réflexes apparaissent comme métamérisés. Dans l'impossibilité où nous sommes de retrouver chez l'homme les vestiges d'une viscéromérie primitive, cette métamérisation doit être comprise en ce sens, que dans les conditions ordinaires de l'excitation viscérale, c'est-à-dire en dehors des paroxysmes perturbateurs, ces réflexes viscéro-moteurs apparaissent toujours dans une même aire d'innervation musculaire radiculaire pour un viscère déterminé. Bien plus, l'aire myomérique des rigidités d'origine viscérale correspond au territoire dermatomérique dans lequel se produisent les manifestations de sensibilité cutanée consciente au cours des splanchnalgies. Cette double constatation a permis d'établir en clinique les connexions neuromériques des viscères, c'est-à-dire les étages médullaires avec lesquels nos viscères sont connectés au point de vue sensitif et moteur dans leurs relations avec la paroi somatique.

Nous disons que le foie est en connexion neuromérique avec la moelle de D_5 à D_9 parce que nous voyons les rigidités musculaires qu'il engendre à la paroi apparaître dans les myomères D_5 à D_9 et les transferts sensitifs cutanés des hépatopathies se manifester dans les dermatomes D_5 à D_9.

Du point de vue de leurs modalités les réflexes viscéro-moteurs se présentent en clinique sous des aspects différents.

Dans son expression clinique la plus élémentaire, la rigidité musculaire apparaît isolée dans ce sens qu'elle ne s'accompagne pas de réactions de sensibilité consciente ni provoquée ni spontanée. Souvent même, il est

nécessaire de l'éveiller par le palper. Le fait est fréquent à observer au niveau de l'abdomen au cours des viscéropathies latentes. La nécessité de cette addition du palper n'enlève rien à l'origine viscéro-motrice de cette rigidité. En effet, quand on la provoque dans l'aire myomérique d'un rein malade par exemple, au niveau des muscles larges de l'abdomen, cette rigidité réveillée par le palper n'apparaît que du côté correspondant au viscère lésé et non pas du côté du rein resté sain ; de ce côté le palper ne modifie en rien la contraction musculaire.

A un second degré la rigidité musculaire s'accompagne ou d'hyperalgésie musculaire ou d'hyperalgésie cutanée ou des deux manifestations de sensibilité consciente à la fois. Cette sensibilité musculaire est aisée à mettre en évidence par le pincement du muscle quand la dermalgie est absente. D'autre part cette myalgie subsiste quand le réflexe viscéro-moteur subsiste lui-même après anesthésie sous-dermique de la région à la novocaïne c'est-à-dire après avoir mis hors cause la sensibilité de la peau à la douleur. Ces deux ordres de faits permettent d'affirmer l'existence d'une sensibilité musculaire comme facteur dolorigène dans la genèse des douleurs pariétales provoquées au cours des splanchnopathies.

Enfin, dernière modalité clinique, la rigidité musculaire s'accompagne de douleur spontanée dans l'aire où elle se produit. Cette douleur spontanée est la conséquence de l'exacerbation ou de la myalgie ou de la dermalgie ; ces deux manifestations de sensibilité consciente n'évoluent pas nécessairement d'une manière parallèle.

Plus intéressant à observer est le comportement des réflexes viscéro-moteurs vis-à-vis de l'anesthésie sous-cutanée à la novocaïne de l'aire où apparaît la rigidité. Sous ce rapport, il existe un parallélisme étroit entre les résultats obtenus par cette méthode sur les rigidités viscéro-motrices et les transferts viscéro-sensitifs à la peau.

En 1926, j'ai montré pour la première fois la possibilité de couper des réflexes viscérogéniques somatiques par la simple anesthésie sous-dermique de l'aire pariétale où ils apparaissent. Les résultats les plus caractéristiques s'observent dans les phlegmasies aiguës des séreuses pariétales (pleurésies, péritonites, péricardites sèches), non seulement la douleur spontanée disparaît mais aussi la rigidité musculaire et la myalgie. (L'hyperalgésie cutanée disparaît évidemment par le seul fait de l'anesthésie.) Là où la chose est appréciable, au niveau des muscles larges de l'abdomen notamment, non seulement le réflexe viscéro-moteur disparaît mais il fait place à de l'hypotonicité, au point qu'en enfonçant le doigt dans la paroi on y produit une dépression en doigt de gant.

L'anesthésie sous-cutanée peut de la sorte supprimer toutes les modalités des réflexes viscéro-moteurs depuis une rigidité simple jusqu'à la contracture avec myalgie et dermalgie au maximum.

Mais je me hâte de l'ajouter, la méthode est loin de ne compter que des succès. Pour les mêmes expressions cliniques des réflexes viscérogéniques, il est de nombreuses circonstances où l'anesthésie sous-dermique

se montre inopérante. Si les succès les plus constants s'observent sur les réflexes viscérogéniques nés de lésions aiguës et sèches des séreuses pariétales, ils sont inconstants dans leurs formes chroniques chez les tuberculeux notamment et dans les mêmes manifestations cliniques pariétales, nées de lésions viscérales. Les mêmes insuccès sont constants quand la source d'excitation réside dans la paroi somatique elle-même (abcès périnéphritiques, phlegmonés pariétaux) et aussi au niveau des aires d'irradiation en dehors des zones d'élection propres aux manifestations viscérogéniques.

Jusqu'à présent, nous ne sommes pas à même d'expliquer l'inconstance de nombreux résultats dans des conditions cliniques sensiblement identiques, notamment vis-à-vis des manifestations pariétales nées de lésions viscérales (les coliques biliaires ou néphritiques par exemple) ; toutefois les revers tout comme les succès permettent sinon de formuler des conclusions d'une objectivité absolue, tout au moins de serrer le problème de plus près.

Analysons tout d'abord les revers, plus aisés à interpréter que les succès.

Prenons une rigidité des muscles larges de l'abdomen à gauche produite par une lithiase rénale latente ; le réflexe viscéro-moteur ne disparaît pas par l'anesthésie sous-dermique de l'aire rigide ; nous sommes en droit de conclure que dans la genèse de ce réflexe la peau n'intervient pas ; nous sommes en droit de dire également que l'anesthésique n'a pas diffusé dans la profondeur au point de mettre le muscle hors de fonction.

Des insuccès s'observent également dans l'ordre des transferts viscéro-sensitifs à la peau ; je disais il y a un instant qu'ils sont constants au niveau des aires d'irradiation. Prenons une crise d'angine de poitrine avec angor ; l'aire douloureuse spontanée est limitée à l'extrémité distale et interne de l'avant-bras avec dermalgie locale provoquée ; l'anesthésie sous-cutanée se montre inopérante sur la douleur spontanée ; nous sommes en droit de conclure que dans la genèse de cette douleur cutanée la peau n'intervient pas. Il s'agit en réalité d'une douleur projetée par excitation directe du neurone central de la vie de relation dans la moelle par les afférences sensibles viscérales suivant le concept de Mackenzie.

Analysons à présent les succès et choisissons un cas comparable au premier que je vous signalais parmi les revers. Prenons une appendicite rétro-coecale avec péritonite chronique locale. Suivant la latence ou le réveil plus ou moins marqué de la lésion, nous pourrons constater au niveau du flanc droit toute la gamme clinique des rigidités que je vous signalais en commençant, depuis la rigidité simple jusqu'au réflexe viscéro-moteur avec toutes les variétés de sensibilité pariétale consciente. En pareil cas, les succès de l'anesthésie sous-cutanée de l'aire en cause sont constants.

Comment pouvons-nous interpréter cette action d'une simple anesthésie sous-dermique sur cet ensemble de manifestations viscérogéniques à la peau et dans les muscles ?

La première pensée qui vient à l'esprit et que l'anesthésique appliqué sous la peau a diffusé dans la profondeur et mis hors cause l'innervation

musculaire ou la sensibilité de la séreuse pariétale. En réalité, l'ensemble des faits cliniques permet d'exclure une semblable interprétation pour les raisons suivantes :

1. Une simple anesthésie sous-cutanée ne suffit pas pour opérer à l'anesthésie régionale et les chirurgiens ne s'y risquent pas. Dans deux contrôles opérés sur la paroi de la fosse iliaque droite, l'anesthésie sous-cutanée n'a pas exclu ni la sensibilité musculaire ni celle du tissu cellulaire rétro-péritonéal.

2. L'anesthésie musculaire est très difficile à réaliser même dans le cas d'anesthésie profonde. Il n'y a pas de comparaison à faire avec l'hypotonicité que nous observons après la disparition du réflexe viscéro-moteur sous l'influence d'une injection sous-dermique de novocaïne.

3. On ne voit pas, toutes choses égales d'ailleurs, comment la novocaïne mettrait hors de fonction un réflexe viscéro-moteur d'origine péritonéale et respecterait un réflexe viscéro-moteur d'origine rénale (voyez plus haut) par un mécanisme de diffusion positif ou négatif.

4. Nous n'avons pas opéré de contrôle au niveau de la paroi thoracique où des phénomènes de diffusion profonde sont mieux concevables qu'au niveau de la paroi abdominale. Si cette diffusion se réalisait, on ne compterait que des succès dans les pleurodynies ; or, justement dans les formes chroniques tuberculeuses les insuccès sont fréquents.

5. Il est possible de supprimer des réflexes viscérogéniques dans des conditions où toute question de diffusion de l'anesthésique est exclue à priori. C'est le cas des douleurs d'aortite ou d'angine de poitrine notamment où l'anesthésie d'une zone douloureuse limitée suffit à couper une constriction étendue à tout un étage thoracique. On ne voit pas comment l'anesthésique atteindrait ici une zone de sensibilité cardiaque ou aortique ou diffuserait dans une musculature éloignée de l'aire injectée.

Tous les faits cliniques s'accordent à démontrer qu'une anesthésie sous-dermique à la novocaïne ne dépasse pas le territoire sous-cutané où elle est appliquée.

S'il en est ainsi et tout semble le démontrer, si l'anesthésique appliqué sous la peau y limite son action, il faut bien admettre que dans la genèse des réflexes viscérogéniques somatiques qui obéissent à l'anesthésie sous-dermique, il existe un chaînon cutané que cette dernière a mis hors de fonction en interrompant en même temps le circuit sensitif ou moteur. Un réflexe viscéro-moteur qui cède à l'anesthésie sous-dermique est engendré en réalité par une excitation splanchnique transmise à la peau et secondairement au muscle pariétal dans les correspondances myomériques du viscère.

Ce chaînon cutané quel est-il ? Nous n'en savons rien. Toutes les hypothèses émises jusqu'à présent, dépourvues de base expérimentale, ne méritent pas qu'on s'y arrête davantage.

LES LÉSIONS CÉRÉBRALES DANS LA DÉMENCE PRÉCOCE

par le Dr D'HOLLANDER,

Professeur à l'Université de Louvain.

Le plus grand désaccord continue à régner au sujet des cadres nosographiques qu'il y a lieu d'assigner à la démence précoce. Cela tient pour une part à l'indigence de nos connaissances anatomopathologiques dans

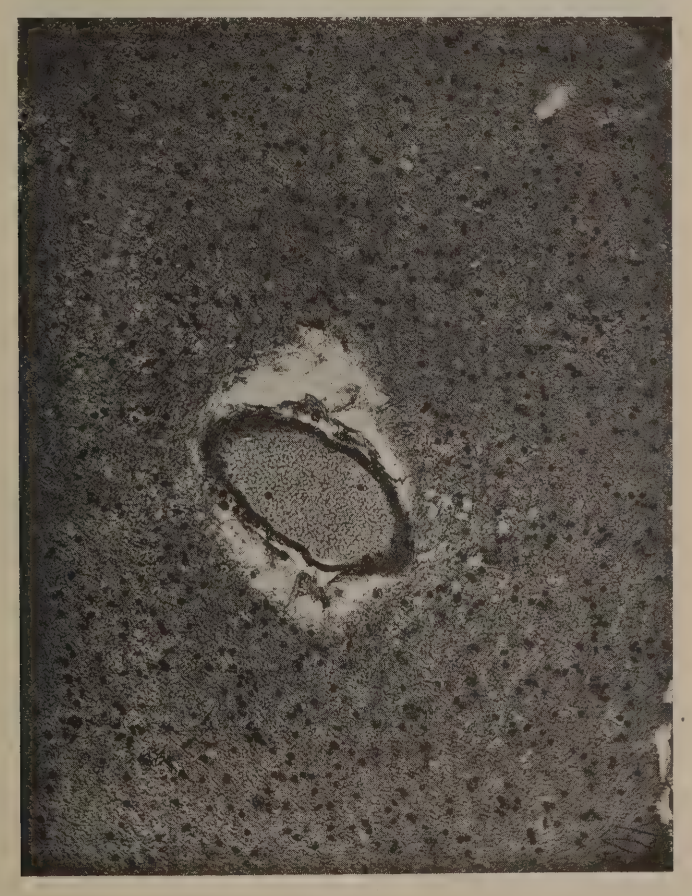


Fig. 1.

cette affection. Le travail de l'auteur est la synthèse des lésions qu'il a relevées dans le cerveau de sept cas de démence précoce de diagnostic indiscutable.

Au point de vue anatomo-clinique, une constatation du plus haut intérêt, est la similitude frappante des lésions dans les sept cas. Un autre fait à retenir, c'est que les lésions affectent l'ensemble du cerveau, y compris la couche optostriée, le bulbe et le cervelet.

Bien plus que la fonte des cellules ganglionnaires suivie de la prolifération réactionnelle de la neuroglie, les altérations des méninges molles et des vaisseaux méritent de retenir l'attention.

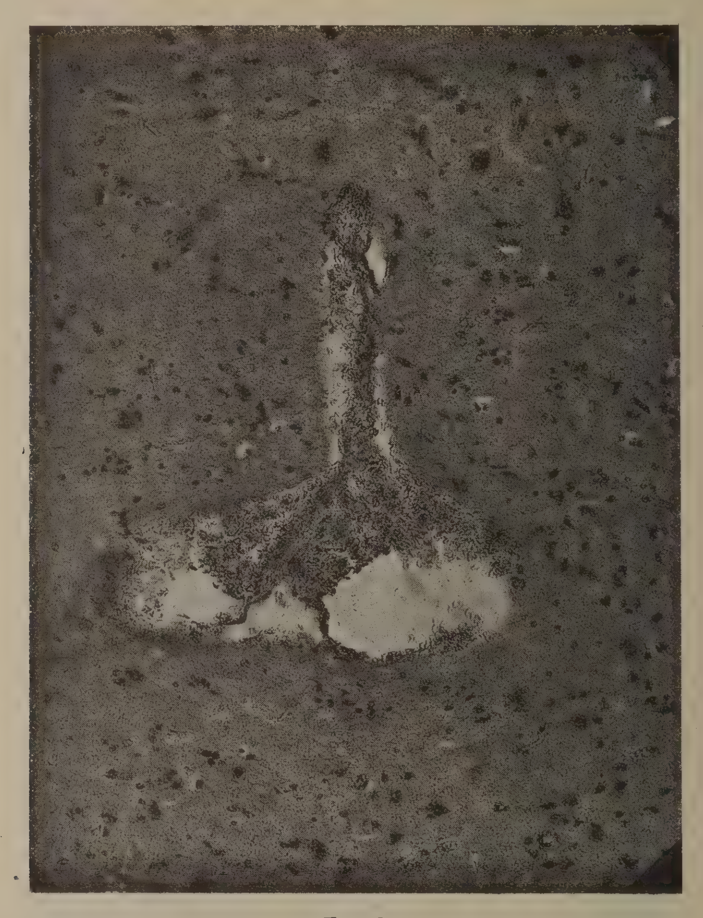


Fig. 2.

Les méninges sont le siège d'une hyperplasie intense ; on y trouve la sclérose ancienne, à côté de lésions jeunes infiltrées de mono-nucléaires et de lymphocytes ; processus inflammatoire ancien donc, et encore en pleine évolution.

Les vaisseaux méningés participent à l'hyperplasie ; d'un degré extrême elle forme des plaques d'angiomatose inflammatoire (Masson) exubérante et envahissante (l'écorce).

L'hyperplasie des vaisseaux dans le cortex produit des vaisseaux pelotonnés, granulomateux, et des cordons vasculaires. L'atrophie dégénérative, et la dégénérescence hyaline des vaisseaux produit des hémorragies miliaires, des nécroses périvasculaires, dont la barrière glio-scléreuse atteste l'ancienneté.

La paroi des vaisseaux et aussi les gaines périvasculaires sont infiltrées par des cellules lymphoïdes ; celles-ci peuvent former de vrais manchons

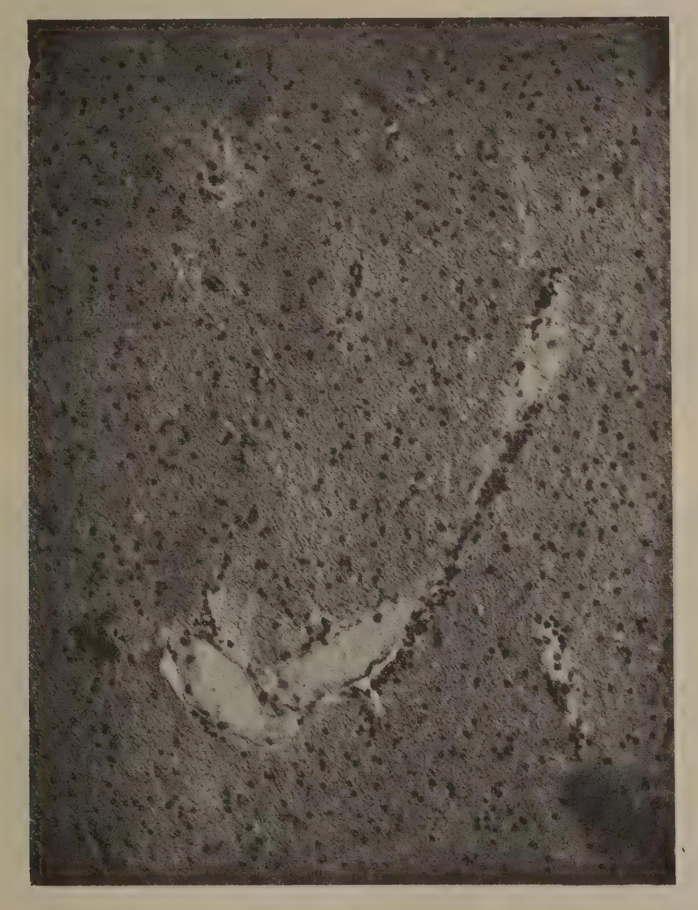


Fig. 3.

périvasculaires ; ces cellules sont la preuve de la nature inflammatoire des processus lésionnels ; elles sont d'origine gliale. La neuroglie en activité s'exprime par des groupements en chapelet, en palissade, autour des capillaires, et par des nids gliaux autour des capillaires et des cellules nerveuses dégénérées ; ces groupements rappellent les « nodules infectieux » de certains auteurs.

En outre, un semis diffus de gros marcophages et de corps amyloïdes. Pas de plasmocytes, ni de leucocytes.

L'auteur a la conviction que ces lésions sont en rapport de dépendance réelle avec la maladie-démence précoce, à l'encontre des partisans de l'intégrité vasculo-conjonctive. L'étude des vieux cas, à côté des cas frais mettra tout le monde d'accord. De même que pour l'évolution clinique, il faut admettre une gradation dans les lésions, suivant l'âge des cas particuliers.

Ces lésions de caractère inflammatoire ressortissent-elles à l'inflamma-

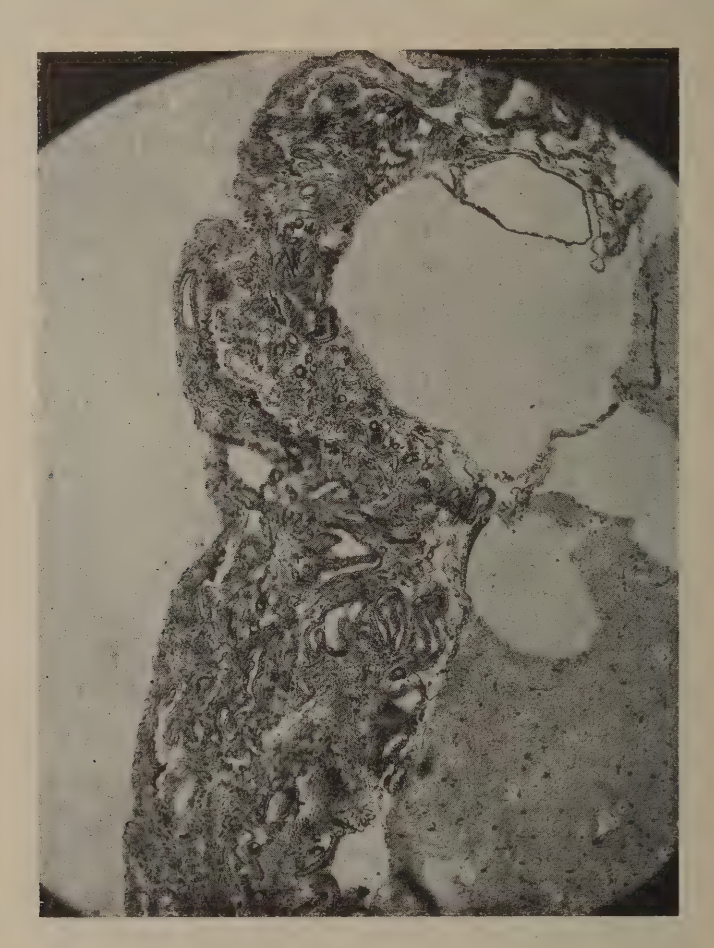


Fig. 4.

tion de nature infectieuse ? L'auteur est porté à l'admettre ; des foyers de neuroglie, pareils à ce qu'on trouve dans les infections expérimentales, et l'angiomatose hyperplasique exubérante (botryomycome) plaident en faveur de cette conception. C'est là une riche hypothèse de travail pour l'étiologie de la démence précoce.

Quoi qu'il en soit, les recherches de l'auteur font admettre que le processus nocif, qui est à la base des altérations histologiques dans la démence précoce. affecte l'ensemble de l'axe cérébrospinal.

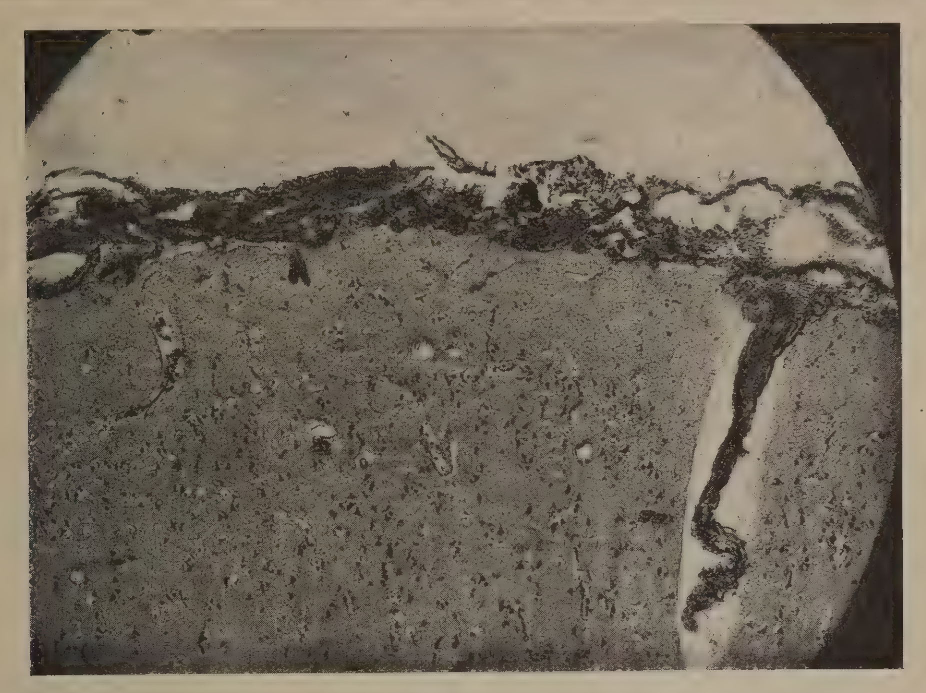


Fig. 5.

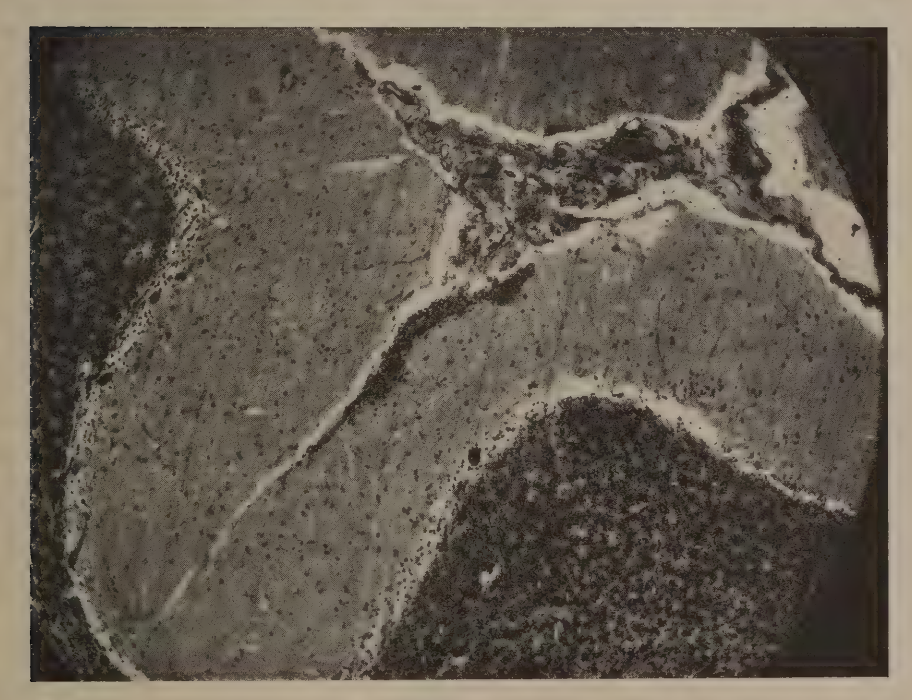


Fig. 6.

CONSIDÉRATIONS SUR LA PHYSIO-PATHOLOGIE ET LA CLASSIFICATION DES NÉPHROPATHIES CHRONIQUES

par Paul GOVAERTS,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

Un Congrès des Sciences organisé à l'occasion d'un jubilé national doit inciter chacun de nous à considérer les progrès réalisés dans les domaines auxquels il a consacré des recherches. C'est pourquoi nous avons choisi comme sujet de cet exposé la question de néphropathies chroniques et l'état actuel de nos conceptions sur la physiopathologie de ces affections.

Les cliniciens sont unanimes à distinguer, dans le complexe du mal de Bright trois variétés fondamentales : une forme hydropigène où l'oedème est le symptôme capital, une forme urémigène caractérisée par la rétention des produits du métabolisme azoté, enfin une forme hypertensive qui s'accompagne de sclérose vasculaire. Ces trois syndromes peuvent exister isolément, ou bien s'associer dans une certaine mesure, ou enfin se succéder ; les relations qui les unissent aux lésions anatomiques des reins, les processus qui les font dériver des altérations de la fonction rénale, sont encore très obscurs et n'ont cessé d'exercer la sagacité des chercheurs. Comme nous avons eu l'occasion de nous occuper plus spécialement de la pathogénie de l'oedème néphrétique, c'est l'interprétation des néphropathies hydropigènes qui sera l'objet essentiel de notre exposé.

Pathogénie de l'œdème néphrétique

Bien que certains auteurs continuent à soutenir que l'œdème est le résultat d'un gonflement des cellules, l'opinion est presque unanimement ralliée à l'idée que l'œdème néphrétique résulte de l'accumulation de liquide dans les espaces interstitiels des tissus, dans le « système lacunaire » dont le professeur Achard a montré toute l'importance.

Les diverses variétés d'œdèmes que l'on rencontre en pathologie peuvent être divisées en deux catégories : *a*) les œdèmes riches en protéines (œdème inflammatoire, angioneurotique, œdèmes toxiques de la paraphénylènediamine ou de l'urane) ; *b*) les œdèmes pauvres en protéines (œdème de stase provoqué, œdème cardiaque, œdème néphrétique).

Le mode de formation des œdèmes riches en protéines est relativement bien connu. L'accumulation de liquide interstitiel résulte du passage des protéines sanguines à travers les endothéliums des capillaires rendus anor-

malement perméables soit parce qu'ils sont dilatés à l'extrême, soit parce qu'ils ont subi une imprégnation toxique. Aussi, la richesse de ces liquides en protéines fournit-elle une mesure du degré d'altération des capillaires.

Le problème est tout différent pour ce qui concerne la formation des œdèmes pauvres en protéines ; leur composition même démontre, en effet, que les capillaires ont conservé leurs caractères normaux de perméabilité et par conséquent l'accumulation excessive de liquide interstitiel ne peut avoir comme cause essentielle des altérations vasculaires. Aussi les conceptions tendant à expliquer l'origine des œdèmes néphrétiques ont-elles énormément varié. Dans les vingt dernières années, l'explication habituellement fournie était la suivante. On avait remarqué que les liquides d'œdème étaient plus riches que le sang en chlore et l'on en déduisait que, chez les néphrétiques et les cardiaques œdémateux, le chlorure de sodium, imparfaitement éliminé par les reins, s'accumulait dans les tissus et, par une attraction osmotique, y retenait de l'eau. Ainsi, le lien entre la lésion rénale et la formation des œdèmes, c'était la rétention chlorurée.

Cette théorie a été brillamment défendue par Widal et par son école et on peut dire qu'elle a dominé l'opinion médicale jusqu'à l'heure actuelle, dans les pays de langue française.

Dans les dernières années, la théorie de la rétention chlorurée a été fortement ébranlée par les constatations suivantes. Tout d'abord, la clinique a montré qu'il existait une série de cas d'affections rénales où l'on observait une rétention chlorurée importante sans qu'il apparut d'œdème ; c'est ce que l'on a dénommé « rétention chlorurée sèche ». Ensuite, la physico-chimie a établi que le fait de trouver plus de chlore dans les liquides interstitiels que dans le sang n'est nullement une preuve d'une rétention chlorurée. C'est la conséquence d'un équilibre physique, résultant de la répartition inégale des ions minéraux entre deux liquides dont l'un est fortement albumineux et dont l'autre est presque privé de protéines, lorsque ces liquides sont séparés par une membrane. Ce phénomène très général est connu sous le nom d'équilibre de Donnan. Puisque l'existence d'un excès de chlore dans le liquide d'œdème est l'expression d'un équilibre physique inéluctable, on ne peut invoquer ce fait pour expliquer par une action osmotique une rétention d'eau dans les tissus.

Dans ces conditions, la théorie de Widal ne pouvait plus être défendue sans subir des retouches importantes. Blum a essayé d'expliquer l'action hydratante du chlorure de sodium en la rattachant, non plus à l'ion chlore, mais à l'ion sodium. Mauriac a attribué l'œdème à un déséquilibre osmotique de tous les ions cristalloïdes, mais ni l'un ni l'autre de ces auteurs n'a réussi à définir en vertu de quelles forces physiques ces ions étaient capables de produire la rétention d'eau dans les espaces interstitiels.

Partant de conceptions toutes différentes, M. Fischer s'est efforcé de rattacher la formation des œdèmes à des phases successives de gonflement et de dégonflement des cellules sous l'influence de l'accumulation d'acides dans les tissus. Cette théorie a été favorablement accueillie en Allemagne

et aux Etats-Unis, mais elle a été fortement combattue ensuite, lorsque la mesure du *p*H dans les humeurs et dans les cellules a montré que, jamais, dans l'organisme vivant, on n'observe des acidités susceptibles de produire les effets invoqués par Fischer.

Dans les dernières années, une série de recherches ont contribué à orienter les conceptions de la pathogénie des œdèmes dans une voie toute différente. Ces recherches ont eu pour base les observations déjà anciennes du physiologiste anglais Starling. Si l'on place du sérum sanguin dans un osmomètre fermé par une membrane présentant les caractères de perméabilité des parois endothéliales (perméables à l'eau et aux sels, imperméable aux protéines) et si l'on plonge cet osmomètre dans une solution saline physiologique, on observe que cette solution est attirée par le sérum. Le liquide extérieur pénètre dans l'osmomètre et cette attraction n'est contre-balancée que lorsque la pression dans l'osmomètre atteint 35 à 40 cm. d'eau. Cette expérience de Starling définissait ainsi une force qui a été dénommée « pression osmotique des protéines ». Près de vingt ans plus tard, J. Loeb a fourni une explication physique de ce phénomène en montrant que la cause principale de cette pression osmotique est une répartition inégale des ions cristalloïdes des deux côtés de la membrane en vertu des lois de l'équilibre de Donnan.

Grâce à l'existence de la pression osmotique des protéines, le mécanisme des échanges entre le sang et les espaces lacunaires devient très clair. Les capillaires sont soumis à des pressions qui varient selon les territoires envisagés : dans la région des capillaires artériels, la pression hydrostatique est élevée, supérieure à l'attraction osmotique qu'exercent les protéines sanguines ; dans cette zone, le sang perd de l'eau au profit du liquide interstitiel. Plus loin vient un point où la pression capillaire et l'attraction osmotique des protéines s'équilibrent et où les échanges sont nuls. Enfin, dans la région des capillaires préveineux, la pression du sang est très faible ; l'attraction osmotique s'exerce par conséquent comme dans un osmomètre et le liquide interstitiel est réabsorbé. Cette conception a été développée dans divers travaux du physiologiste Bayliss. Krogh a montré qu'elle correspondait à la réalité en établissant que la membrane des capillaires est effectivement imperméable aux protéines, perméable à l'eau et aux sels. Dans ces conditions, la pression osmotique des protéines doit forcément être active dans les capillaires, tout comme dans un osmomètre et son influence sur les échanges ne peut manquer d'être considérable.

Les protéines sanguines jouent un rôle primordial dans la répartition des liquides à l'intérieur de l'organisme. On sait, en effet, que la pression dans les capillaires préveineux est pratiquement identique à la pression qui règne dans les veines au même niveau par rapport au cœur (Carrier et Rehberg). Or, cette pression veineuse dépend étroitement de la pesanteur ; au niveau des membres inférieurs, elle est toujours élevée. Elle le serait plus encore sans deux circonstances qui tendent à la réduire : l'action des valvules et celle des contradictions musculaires inconscientes qui se pro-

duisent toujours lorsque le tonus musculaire est intact. Mais si les valvules sont insuffisantes, si le tonus est aboli, ou encore s'il existe de la compression veineuse ou de l'insuffisance cardiaque, la pression dans les capillaires préveineux devient plus forte que l'attraction osmotique des protéines sanguines ; les capillaires préveineux, au lieu de résorber du liquide en laissent au contraire filtrer et un œdème se constitue. C'est donc le fait de posséder un sang dont la pression osmotique des protéines est élevée qui protège contre l'œdème de stase les mammifères de grande taille dont le cœur est situé à un niveau élevé au-dessus du sol. Grâce aux protéines sanguines, les liquides interstitiels se répartissent uniformément dans l'organisme ; sans elle, ils s'accumuleraient constamment aux points déclives, sous l'action de la pesanteur.

Jusqu'ici on n'était pas parvenu à mesurer directement la pression sanguine dans la portion artérielle des capillaires. Tout récemment, Landis a réussi à effectuer cette mesure chez l'homme et il a constaté que, dans la branche artérielle des capillaires, la pression sanguine est supérieure à la pression osmotique des protéines, tandis qu'elle est beaucoup moindre dans la branche veineuse. Ces faits démontrent que le schéma des échanges établi par Starling correspond bien à la réalité.

Ces considérations physiologiques précises permettent de définir avec une grande netteté les conditions provoquant l'accumulation de liquide interstitiel aux points déclives: ce fait se réalisera chaque fois que la pression hydrostatique, dans la branche veineuse des capillaires et dans les veines, sera supérieure à la pression osmotique des protéines sanguines. Cette condition existe dans l'œdème de stase provoqué par la compression d'un membre. Elle se produit fréquemment en pathologie et peut être réalisée par deux mécanismes différents : *a*) l'élévation anormale de la pression veineuse ; *b*) la diminution primitive de la pression osmotique des protéines.

L'élévation primitive de la pression veineuse résulte soit de la compression de gros troncs veineux, soit de l'insuffisance du cœur. Aussi, sans saisir le détail des phénomènes, les cliniciens sont-ils d'accord depuis longtemps pour admettre que l'augmentation de la pression veineuse est un facteur primordial de l'œdème chez les cardiaques. Mais il était plus difficile de concevoir que, chez les néphrétiques, l'œdème put résulter de causes mécaniques. Chez ces patients, il existe cependant tout comme chez les cardiaques, un déséquilibre entre la pression veineuse et la pression osmotique des protéines ; mais cet état de choses n'est pas réalisé, par l'élévation de la pression veineuse, il a, au contraire, comme origine un abaissement primitif de la pression osmotique. Chez les néphrétiques œdémateux, la pression veineuse est normale, mais la pression osmotique des protéines est extraordinairement réduite : au lieu de 40 cm. d'eau (valeur normale), elle tombe à environ 20 cm. dans les glomérulonéphrites avec œdèmes, à 15, à 11 et même à 8,5 cm. dans les néphroses. Il est clair que dans ces

conditions les circonstances nécessaires à la formation d'un œdème mécanique aux points déclives se trouvent complètement réalisées.

Quelle est la cause de cette réduction extrême de la pression osmotique des protéines chez les néphrétiques œdémateux ?

Les protéines sanguines se classent en deux grandes catégories : les albumines et les globulines. Nous avons montré en 1925 qu'à concentration égale, les albumines exerçaient une pression osmotique près de quatre fois supérieure à celle des globulines. Or, il est tout à fait remarquable de constater que les modifications sanguines chez les néphrétiques œdémateux se caractérisent essentiellement par une réduction extrême de la teneur du plasma en albumines tandis que les globulines sont en général inchangées. Aussi, la réduction de la pression osmotique dans le sang de ces patients est-elle beaucoup plus marquée qu'on ne le supposerait d'après la teneur du plasma en protéines totales : c'est qu'en effet les proportions de ces protéines sont bouleversées par suite de la diminution élective de la concentration en albumine. C'est la diminution de la sérumalbumine dans le sang des néphrétiques œdémateux qui est la cause essentielle de l'abaissement de la pression osmotique des protéines.

Il reste à envisager par quel mécanisme on peut rattacher à une lésion rénale ce trouble de la composition du sang.

Si l'on examine l'urine des néphrétiques, on constate que la proportion des albumines y est toujours beaucoup plus élevée que celle des globulines. Ce fait est tout spécialement accusé dans les formes hydropigènes comme l'ont montré, récemment encore, les études précises de Torben Geill. Ainsi, lorsque l'albuminurie est abondante, le plasma sanguin perd en permanence une quantité notable de protéines et cette spoliation porte tout particulièrement sur les albumines. Il n'est donc pas surprenant de voir le taux des albumines diminuer électivement dans le sang ; ce fait est accentué encore parce que les albumines se régénèrent plus difficilement que les globulines.

Nous saisissons donc aujourd'hui le lien, si longtemps cherché par les cliniciens, qui rattache les grosses albuminuries aux œdèmes. Certaines formes de lésions rénales provoquent une albuminurie abondante qui appauvrit le sang en protéines et surtout en sérumalbumine. La pression osmotique des protéines se trouve de ce fait considérablement réduite et dès lors, au niveau des points déclives, la pression sanguine dans les veines et les capillaires préveineux se trouve être supérieure à la force d'attraction qu'exercent sur les liquides interstitiels les protéines sanguines. Dans ces conditions, l'apparition d'un œdème est inévitable. L'origine de l'œdème néphrétique est par conséquent avant tout un phénomène mécanique, tout comme celle de l'œdème cardiaque.

L'intervention de la pression osmotique des protéines fait comprendre aussi la signification des deux formes d'œdème néphrétique que les cliniciens ont distinguées depuis longtemps. La première de ces variétés est une infiltration diffuse, une bouffissure généralisée ; elle ne produit nulle part

d'œdème à godets et n'est apparente que là où le tissu cellulaire n'offre que peu de résistance à la distension, par exemple au niveau des paupières. Cette variété se rencontre à l'état de pureté dans les néphrites aiguës, dans les anuries chirurgicales ou toxiques. Elle correspond à une rétention d'eau notable, comme le démontre la chute de poids du malade quand la diurèse reprend. Cependant, l'infiltration reste peu visible, parce qu'elle est uniformément répartie et n'obéit pas à la pesanteur.

La seconde forme d'hydropisie, beaucoup plus commune, consiste en un œdème à godets qui s'accumule aux points déclives (aux membres inférieurs, àux lombes, aux mains). Par son aspect et par sa localisation, il est identique à l'œdème cardiaque. Cette variété d'infiltration se rencontre dans les néphrites chroniques hydropigènes et dans les néphroses. Elle subit des variations d'intensité très importantes.

La signification de ces deux variétés d'œdème est facile à interpréter. Quand une néphrite aiguë survient chez un sujet jusque là bien portant, la composition protéinique du sang est normale au moment où la diurèse se réduit. La pression osmotique des protéines est élevée et, si de l'eau est retenue dans l'organisme, elle se répartit uniformément dans les espaces lacunaires en vertu du mécanisme physiologique que nous avons indiqué. La bouffissure ne devient évidente que là où la peau se laisse aisément distendre ; l'infiltration n'obéit pas à la pesanteur.

Si la lésion rénale provoque une albuminurie intense, le sang ne tarde pas à s'altérer ; le plasma s'appauvrit en sérumalbumine, la pression osmotique des protéines se réduit considérablement et l'on voit apparaître chez le néphrétique un œdème localisé aux points déclives, dont l'aspect est identique à celui de l'œdème cardiaque. Certes, chez certains patients, cette variété d'anasarque peut effectivement être la conséquence d'une insuffisance cardiaque, mais dans les cas les plus fréquents, où la circulation n'est pas troublée, l'œdème a pour origine la réduction extrême de la pression osmotique des protéines sanguines et c'est pourquoi il est presque toujours contemporain des grosses albuminuries. Ainsi se trouve clairement expliquée la signification des deux variétés d'œdème que l'on rencontre chez les néphrétiques.

Il n'est pas téméraire d'affirmer que notre compréhension du syndrome hydropigène se trouve considérablement éclairée par cet ensemble de faits. L'anasarque nous apparaît comme la conséquence des altérations rénales qui provoquent une albuminurie intense et prolongée, qu'il s'agisse de néphrite, d'amylose rénale ou de néphrose. En partant de cette base, l'anatomie pathologique parviendra certainement à reconnaître et à localiser la lésion qui provoque ces albuminuries intenses. La comparaison des néphrites avec l'amylose rénale et aussi l'étude anatomique de certains cas de néphroses lipoïdiques nous ont amené à penser que cette lésion siège dans les glomérules, ce qui est en opposition complète avec les conceptions défendues jusqu'ici. C'est à l'anatomie pathologique qu'il appartient de four-

nir à ce sujet des arguments décisifs et il est préférable de ne pas anticiper sur les résultats de ces recherches.

Néanmoins, on peut d'ores et déjà établir un schéma d'une classification des néphropathies qui, s'il renferme encore des points hypothétiques, repose d'autre part sur un grand nombre de faits bien établis. On peut diviser les néphropathies chroniques en trois groupes :

A. — Néphropathies hydropigènes

(Néphroses, néphrites à nuance néphrotique, amylose rénale)

Le désordre essentiel est une perméabilité anormale des endothéliums glomérulaires pour les protéines et spécialement pour la sérumalbumine. Cette altération a d'ordinaire une origine toxique. Elle s'accompagne souvent de dégénérescence ou d'infiltration graisseuse ou lipoïdique des tubuli. La circulation dans le parenchyme rénal n'est pas troublée. L'excrétion de l'urée et des produits du métabolisme azoté reste normale ; on n'observe pas d'hypertension artérielle ni de rétinite brightique. Le symptôme essentiel est l'œdème, dont l'apparition est liée à l'appauvrissement du sang en sérumalbumine.

B. — Néphropathies urémigènes et hypertensives

(Néphrites urémigènes et hypertensives de Widal ; néphrites vraies des auteurs allemands)

Ces formes ont pour origine des lésions habituellement inflammatoires qui réduisent la capacité de filtration au niveau des glomérules et ne produisent en général qu'une albuminurie modérée. La composition protéinique du plasma est donc peu troublée et par conséquent la tendance aux œdèmes est faible ou absente. Les altérations anatomiques observées consistent en une infiltration leucocytaire des capillaires glomérulaires, avec exsudation dans la capsule de Bowmann et prolifération inflammatoire du tissu interstitiel. Toutes ces lésions rendent plus difficile la circulation dans le glomérule et plus tard dans le rein tout entier. Lorsqu'elles ont persisté un certain temps, le nombre des glomérules perméables au sang diminue et même la vascularisation du rein se réduit notablement. Des études anatomiques récentes de Baehr et Ritter et de Doenecke et Rothschild ont montré que dans les stades avancés des néphrites urémigènes on observait, comme dans la sclérose rénale, une grande diminution du nombre des petits vaisseaux du rein et par conséquent une réduction du débit circulatoire lors d'une perfusion. L'urémie progressive apparaît ainsi comme liée à la réduction de la circulation rénale. Il est possible que l'hypertension des néphropathies, phénomène dont le mécanisme reste jusqu'ici inconnu, ait pour origine la rétention de certains produits du métabolisme azoté. Toutefois, ces données sont encore trop peu démontrées pour pouvoir faire l'objet d'une discussion utile.

C. — NÉPHROPATHIES D'ORIGINE VASCULAIRE PRIMITIVE (*Sclérose rénale*)

Ces affections ont pour substratum anatomique une sclérose primitive des artérioles rénales, dont le premier effet est de rendre plus difficile la circulation glomérulaire, et dont les conséquences s'étendent ensuite au parenchyme rénal tout entier. Il n'est donc pas étonnant que ces affections conduisent, tout comme les néphrites inflammatoires, à un tableau clinique dans lequel l'urémie et l'hypertension sont les phénomènes dominants. Les protéines sanguines ne sont pas modifiées, car l'albuminurie est presque toujours très faible. L'œdème est par conséquent un phénomène exceptionnel au cours de la sclérose rénale. Il n'apparaît guère que dans les stades terminaux et est lié alors à une insuffisance très évidente du myocarde.

Cette classification des affections rénales doit être confrontée avec l'observation clinique et anatomique. Elle présente l'avantage d'être très simple et de reposer sur des données physiologiques qui reçoivent chaque jour des confirmations nouvelles. Malgré les lacunes qu'elle comporte, elle nous paraît réaliser un progrès considérable par rapport aux conceptions qui ont cours généralement dans le domaine encore si obscur des affections rénales.

L'ALEXIE D'ÉVOLUTION

par le Dr Aug. LEY,

Professeur à l'Université de Bruxelles.

C'est un trouble bien curieux que cette incapacité présentée par certains enfants, dont l'intelligence générale est suffisante et normale, d'acquérir le mécanisme de la *lecture*. L'agraphie concomitante se présente tout naturellement. Seule la copie est possible.

Cette alexie a passé jadis, et passe encore souvent sans doute, pour un simple problème pédagogique avec les corollaires qu'il comporte, notamment la punition du « mauvais élève » et les verbes à copier. Parfois ce trouble localisé a fait prendre certains sujets pour des débiles mentaux ou des arriérés. On le trouve signalé dans les travaux des auteurs sous le nom de *cécité verbale congénitale* (wordblindness, Wortblindheit).

En réalité, il s'agit d'une lacune psychique bien curieuse, surtout quand elle se présente chez l'enfant intelligent. Elle détonne chez lui et se trouve en discordance complète avec l'ensemble de ses fonctions psychiques, par ailleurs bien développées. Le trouble est d'autant plus étonnant que l'enfant, incapable de lire ou d'écrire une phrase simple comme « je mange des cerises », peut souvent lire et écrire sans hésiter les chiffres et les nombres et calculer sur eux. Les uns veulent voir dans ce phénomène la preuve de l'existence de « centres » séparés pour la gnosie des lettres et des chiffres. D'autres voient simplement dans le chiffre un symbole plus simple et plus concret.

L'alexie est littérale ou verbale et peut présenter des modalités variées en rapport avec le type psychique sensoriel. Nous avons pu observer un cas où la lecture avait été acquise après de grosses difficultés, et où persistait l'agraphie.

Cette dissociation montre que les deux mécanismes ainsi que le prétendaient Déjerine et A. van Gehuchten et ainsi que semblent le prouver certains troubles de désintégration, dépendent de centres ou de voies associatives différents.

Le fait que chez les alexiques congénitaux, il n'existe en général aucune agnosie visuelle ni pour les objets ni pour les formes, n'est pas en faveur de la dénomination habituelle « cécité verbale ». Le terme *cécité* semble impliquer un sujet irrémédiablement aveugle pour les mots et les lettres. Or, cette affection évolue et tend à l'amélioration sinon à la guérison.

De plus, les sujets à type auditivo-moteur ne présentent pas le même

trouble que le type visuel et montrent leurs caractéristiques mentales dans le phénomène de la lecture, qui consiste pour eux en une synthèse auditive et motrice plus qu'une synthèse visuelle.

Le terme d'*alexie* paraît donc englober mieux tous les cas de l'espèce et malgré les inconvénients que peut présenter l'emploi du même terme pour désigner les troubles de développement et les manifestations de désintégration, nous pouvons à l'exemple des auteurs anglais qui ont parlé de « developmental alexia », proposer pour désigner ces troubles les termes d'*alexie* et *agraphie d'évolution*.

BIBLIOGRAPHIE

Apert, *Dystexie familiale* (*Bull. Méd. Paris*, **38**, 9, [1924]).

F. Bachman, *Ueber kongenitale Wortblindheit* ; Karger, Berlin, 1927.

O. Berkhan, *Ueber die Wortblindheit, ein Stammeln im Sprechen und Schreiben, ein Fehl im Lesen* (*Neur. Ztrbl.*, **22**, 914 [1917]).

Chance Burton, *Development of Alexia. Two cases of Congenital Word-Blindness* (*N. Y. Med. Journ.*, 1913).

F. O. Bruyning, *Over Hoorstomheid*, Thèse d'Amsterdam, 1920.

K. H. Bouman, *Over Hoorstombeit*. Verg. Ned. Vereen. V. Psych. en Neur. te Amsterdam, 1918.

Id., *Kinderstudie*, 1919.

Claparède, *Bradylexie bei einem sonst normalen Kind* (Ref. in *Rev. méd. de la Suisse Romane*, 804 (1916).

Id., *Psychologie de l'enfant et Pédagogie expérimentale ;* Genève, Kundig, 1920.

O. Decroly, *Un cas d'alexie et d'agraphie congénitale chez un débile mental* (*Journ. de Neur. et de Psychiatrie*, 346 [1929]).

B. Engler, *Ueber Analphabetia partialis (Kongenitale Wortblindheit)*, *Mtsschr. f. Psych. u. Neur.*, **42** (1917).

Heäd, *Aphasia and kindrer disorders of speech.* Cambridge University Press, (1926).

E. Illing, *Ueber kongenitale Wortblindheit* (*Monatsschr f. Psych. u. Neur.*, **71**, 297, [1929]).

Ed. Jackson, *Developmental Alexia (Congenital Wordblindness)*, *Amer. Journ. of Med. Soc.*, 1906.

Aug. Ley, *Sur l'alexie congénitale* (*Journ. de Neur. et de Psych.*, 1922).

Id., *Evolution favorable d'un cas d'alexie congénitale avec persistance de l'agraphie* (*Journ. de Neur. et de Psych.*, 1929).

J. Ley, *Les troubles de développement du langage ;* Congrès belge de Neurologie et de Psychiatrie Liége, 1930 ; in *Journ. de Neur. et de Psych.*, juin 1930.

W. Pringle Morgän, *A case of congenital Word-Blindness* (*Brit. Med. Journ.*, 7. 1378 [1896]).

S. T. Orton, *Wordblindness in School Children* (*Arch. of Neur. and Psych.*, **14**, 581 [1915 et 1925]).

A. Peters, *Ueber kongenitale Wortblindheit.* (Ref. *M. M. W.*, 1116 et 1239 [1908]).

E. Pritchard, *Intermittent Word-Blindness* (*The Ophtalmoscope*, 171, [1911]).

W. J. Rutherford, *The Aetiology of congenital Word-Blindness* (*The Brit. J. of Childrens Dis.*, 484 [1909]).

Sanctis (Sante de) *Neuropsichiatria infantile* : Rome, 1925 (A. Stock).

A. Tamm, *Kongenitale Wortblindheit und verwandte Störungen* ; Ber. üb. d. 2. Kongr. f. Heilpädag.; Springer, Berlin 1925. — *Ztschr. f. Psychoanalyt. Pädag.*, I, 1927.

C. J. Thomas, *Congenital Word-Blindness and its Treatment* (*The Ophtalmoscope*, 1905).

G. Wolff, *Kongenitale Wortblindheit* (*D. M. W.*, 16 (1916) et *Korresp. Bl. f Schweiz. Arzte*, [1916]).

LE RADIODIAGNOSTIC PRÉCOCE DE LA TUBERCULOSE PULMONAIRE

par le Docteur P. VAN PÉE

Chargé du cours de Radiologie à l'Université de Liége

L'examen radiologique du poumon dans la tuberculose au début présente une importance exceptionnelle et encore trop souvent méconnue. Et cependant, l'expérience de chaque jour montre combien nos moyens cliniques sont insuffisants et contradictoires. Il est bien rare que deux observateurs puissent se mettre d'accord sur les résultats de l'auscultation et de la percussion. Il est démontré d'autre part, que des tuberculoses avancées, même accompagnées de cavernes, peuvent être muettes. Est-ce à dire, que l'examen radiologique va nous fournir toujours le critérium infaillible, qui nous permettra de trancher à coup sûr un diagnostic hésitant? Ce serait une dangereuse illusion de le croire. Nous connaissons des cas nombreux, où l'examen radiologique, borné seulement à la radiocospie, a fait rejeter le diagnostic de la tuberculose incipiente cliniquement évident, et retardé le traitement jusqu'au jour, où la présence de bacilles dans les crachats a démontré, sans hésitation, la nature de l'affection.

La radiographie elle-même, si elle n'est pas faite avec le souci de réduire au minimum, toutes les causes d'erreur, est susceptible également de nous tromper. Ces erreurs peuvent avoir des conséquences graves en laissant passer le moment le plus favorable pour l'instauration du traitement. Mais l'erreur inverse, sans être aussi funeste, entraîne cependant de nombreux inconvénients. L'un des plus graves, c'est d'encombrer les sanatoria avec des malades, qui sont en réalité des tuberculeux latents, pour qui, une simple cure à la campagne suffirait. Nous savons, combien est limitée la place dans les sanatoria populaires et combien de temps, certains malades doivent attendre, avant d'obtenir leur admission. Il est donc essentiel, au point de vue de l'économie dans la lutte sociale contre la tuberculose, que le triage soit fait rigoureusement. Préciser les limites du diagnostic, est donc un travail d'autant plus nécessaire, que chaque jour, des faits nouveaux, viennent modifier les schémas classiques enseignés dans nos livres. Ce sont notamment les contrôles d'autopsie qui nous montrent, combien il est important de se montrer prudent dans l'interprétation des images fournies par les Rayons X. Un travail tout récent de Saupe (52) nous prouve une fois de plus, comment les affections les plus diverses peuvent se confondre dans leurs signes radiologiques.

Le principe essentiel, qui nous permettra de réduire au minimum les erreurs, c'est de ne pas nous départir d'une stricte objectivité, en nous rappelant toujours, que les rayons X ne nous montrent que les différences de transparence et laissent à d'autres méthodes, le soin de nous les expliquer. C'est l'observation clinique, l'opération, l'expérimentation sur l'animal, l'autopsie, qui ont permis au radiologue d'établir certaines relations entre les ombres qu'il voit, et les maladies qui les provoquent.

En examinant un poumon, nous ne pouvons pas voir de la tuberculose, mais seulement des taches qui, par leur disposition, leur opacité, leur évolution, nous font penser à de la tuberculose. Contrôlons cette hypothèse, par des examens répétés, par la clinique et le laboratoire et nous arriverons quelquefois à poser un diagnostic voisin de la certitude. Réduite à ce rôle en apparence modeste, la radiologie pulmonaire rend aujourd'hui déjà, d'immenses services et verra indiscutablement par le perfectionnement de la technique, s'étendre de jour en jour, son domaine.

Commençons par préciser ce qu'il faut entendre par tuberculose au début, car ce mot est susceptible d'interprétations diverses. Il est démontré aujourd'hui à l'évidence, que « l'homme adulte est un tuberculeux latent quand il n'est pas un tuberculeux évoluant », Péhu et Dufourt ([1]). Il ne faut donc pas s'étonner, si en pratiquant l'examen radiologique du thorax d'une foule de sujets sains, nous y trouvons des signes de tuberculose latente, tels que glangions calcifiés, un sommet voilé, des épaississements des scissures interlobaires, etc. Il est même difficile de trouver un poumon vierge de toute lésion, nous permettant d'établir ce qu'il faut entendre par état normal. Cet état normal est plutôt une abstraction, dont la réalité ne s'approche que d'une manière variable.

Ces tuberculoses latentes de l'adulte ont, nous le savons aussi, grâce aux autopsies, à l'examen clinique, aux épreuves de la tuberculine leur origine dans l'enfance. Enfin, il a été prouvé récemment par Calmette (64) et ses collaborateurs, que l'infection tuberculeuse peut remonter beaucoup plus loin encore et se produire *in utero*, par un virus filtrant. C'est donc chez l'enfant, que nous devons chercher le début réel de la tuberculose et confronter les résultats de notre examen radiologique, avec ceux de la clinique, de l'anatomie pathologique et du laboratoire. Le virus tuberculeux, quel que soit son mode de pénétration dans l'organisme, se localise avec une fréquence exceptionnelle dans le poumon. Les travaux de Küss (62) de Ghon (5) confirmés par beaucoup d'autres ont montré, qu'au point de pénétration du bacille dans le poumon se produit une lésion caractéristique, qui a été désignée sous le nom de « chancre d'inoculation » ou « Primäraffekt » (Ranke). De ce chancre initial, les bacilles sont transportés aux ganglions pulmonaires, bronchiques, trachéo-bronchiques et trachéaux où ils donnent naissance à des modifications diverses. Il se produit ainsi un tableau anatomico-pathologique auquel Ranke a donné le nom de « Primärkomplex ». Ces travaux n'ont fait que de préciser les faits déjà signalés par Parrot.

Le chancre initial se rencontre le plus souvent aux bases, plus fré-

quemment à droite qu'à gauche. Souvent il est sous-pleural : composé au début d'un amas de tubercules crus, il n'est pas visible aux rayons X. Il ne le deviendra, que lorsqu'il aura subi la transformation fibreuse, caséeuse et surtout calcaire. Mais cette dernière transformation prendra un temps souvent très long ; si bien que quand le chancre initial sera visible, il n'aura plus qu'un intérêt historique. Autour de ce chancre initial vont se produire des réactions inflammatoires et même des infiltrations non spécifiques auxquelles on a donné le nom d'épi ou de paratuberculose. Ces réactions inflammatoires sont plus ou moins précoces, plus ou moins étendues, plus ou moins traînantes suivant le degré d'immunité des sujets infectés. Elles peuvent être visibles aux Rayons X, sous des formes qui n'ont rien de caractéristique. Les ganglions eux-mêmes, quand ils sont simplement hypertrophiés ne sont pas visibles. Ils peuvent, par la compression qu'ils exercent sur les organes voisins, amener des phénomènes d'atélectasie, de bronchosténose, d'emphysème et quelquefois même, un syndrome médiastinal. Plus tard, sous l'influence de la transformation fibro-caséeuse et de la calcification, les ganglions deviennent visibles sous forme d'ombres à contours polycyclique situées le long de la trachée, du pourtour gauche du cœur et plus spécialement au niveau du hile droit. Ici, en effet, les conditions de visibilité sont les plus favorables, car l'ombre du cœur ne masque pas les ganglions situés le long de la bronche principale et de ses grosses ramifications. A gauche, au contraire, l'examen est très difficile, étant donné surtout que la radiographie des jeunes enfants se fait le plus souvent en position horizontale, qui augmente le diamètre transversal du cœur, et provoque une augmentation de tension dans la circulation pulmonaire. Il en résulte que les grosses branches de l'artère pulmonaire, qui constituent la partie essentielle des arborisations du hile sont dilatées. On arrive ainsi facilement à diagnostiquer une exagération des ombres hilaires et quelquefois même des ganglions bronchiques qui n'existent pas. Si deux vaisseaux s'entrecroisent ou si l'un d'eux est projeté parallèlement à son axe, il en résulte une superposition d'ombres qui en impose pour un ganglion bronchique. Assmann (35) de Leipzig a démontré nettement ces faits. Les ganglions de la bifurcation et ceux qui entourent la trachée sont également difficiles à voir, dans la direction sagittale. Pour les découvrir, il faut faire l'examen dans les directions obliques et surtout dans la direction frontale. MM. Lestoquoy et Lehmann (47) ont insisté récemment sur ces faits. Une cause d'erreur peu connue a été signalée récemment par Holtz ; c'est la présence dans le sternum de centres d'ossification qui peuvent en imposer pour des ganglions bronchiques calcifiés. Il pourra souvent aussi être difficile de distinguer l'ombre du thymus de celle des ganglions prétrachéaux. Mais la présence des ganglions, plus ou moins hypertrophiés et altérés, étant démontrée par la radiographie, rien ne prouve encore que ces ganglions soient tuberculeux. En effet, des affections banales, telles que la coqueluche, la rougeole peuvent donner les mêmes aspects.

Le bacille arrêté dans les ganglions du hile peut y demeurer définiti-

vement sans produire des symptômes cliniquement appréciables. Mais le plus souvent, il gagne des régions plus ou moins éloignées de l'organisme par la voie sanguine ou lymphatique ou bien atteint par contiguïté, le tissu pulmonaire voisin. Nous avons alors autour du hile des zones d'infiltration parenchymateuse et péribronchique avec évacuation intermittente de bacilles dans les cavités aériennes et extension progressive des lésions. On peut voir ainsi chez l'adolescent et même chez l'adulte la tuberculose se réveiller autour du hile, fait qui a été mis en évidence par ALEXANDER (6). La propagation du bacille par voie lymphatique amène, avec une très grande fréquence, la participation de la plèvre. On observe souvent cliniquement les pleurites, les scissurites à répétition sur lesquelles PIERY de Lyon (60) a spécialement insisté. Ces pleurésies sèches ou avec épanchement, doivent être recherchées soigneusement par le radiologue.

Il semble bien que l'insuffisance de mobilité d'une moitié du diaphragme désignée sous le signe de Williams soit due à de la pleurésie de la base. L'exploration des sinus costodiaphragmatiques exige, comme on le sait depuis longtemps, le déplacement du malade et de l'ampoule, pour diminuer à droite l'ombre gênante du foie. Les deux grandes scissures par leur position oblique à 45 % de haut en bas et d'arrière en avant, sont peu accessibles à l'examen en position sagittale. Il est nécessaire pour les voir, de placer le malade latéralement ou de lui faire prendre la position de lordose exagérée (Kreuzhohlstellung) décrite par FLEISCHNER (27). Par contre, la scissure qui sépare le lobe supérieur droit du lobe moyen est, du fait de sa position horizontale, très accessible à l'examen. On la distingue comme une fine ligne traversant la partie supérieure du champ pulmonaire droit « Haarlinie » des auteurs allemands). La dissémination du bacille par la voie sanguine peut donner lieu aux diverses formes de granulies. Dans certains cas, il s'agira de formes bénignes, telles que la granulie de Bard ; dans d'autres, de tuberculose miliaire aiguë à évolution rapidement fatale. La radiographie a démontré que, contrairement à la conception ancienne, il existe des formes de tuberculose miliaire à évolution chronique et curable. L'aspect radiologique est celui des semis de petites taches arrondies répandues dans les deux champs pulmonaires. Ces taches ne sont pas produites par des tubercules isolés mais par l'addition des ombres fournies par ces tubercules suivant la direction des rayons. Les lésions évoluant surtout dans le tissu interstitiel, ont été désignées par les Allemands, sous le nom de « productives » par opposition aux lésions du parenchyme baptisées du nom « d'exsudatives ». Les premières sont surtout constituées par un tissu de granulation et les secondes par des exsudats alvéolaires. Ces dernières donnent naissance à des foyers pneumoniques ou bronchopneumoniques qui se traduisent à l'examen radiologique par des opacités à contours mal délimités, dont le centre est plus dense que la périphérie. On explique cette différence de densité par la disposition anatomique de lésions qui se disposent en grappes, en amas plus ou moins sphériques, dont l'épaisseur est nécessairement plus grande au centre qu'à la périphérie. Le transport du bacille par les

lymphatiques péribronchiques donne naissance à des lésions de la paroi, qui tantôt va se scléroser, tantôt va se perforer, en permettant le passage des produit caséeux dans l'arbre aérien. Il en résultera des images complexes, où l'on verra à la fois des traînées denses s'irradiant des hiles vers la périphérie et des aspects pneumoniques ou bronchopneumoniques. Encore une fois, ces images n'ont rien de spécifique. Ullrich (63) a montré, dans un intéressant travail, combien il est difficile de différencier des broncho-pneumonies banales compliquées, par exemple de rougeole, des broncho-pneumonies tuberculeuses. C'est seulement en suivant pas à pas, l'évolution de la maladie et en combinant les résultats de tous les procédés d'investigation, que nous arriverons à formuler un diagnostic exact. En résumé, le diagnostic radiologique de la tuberculose pulmonaire chez l'enfant doit se borner à recueillir des documents, qui viendront s'ajouter à ceux de la clinique. Vu les difficultés considérables de l'auscultation et de la percussion chez le jeune enfant, le contrôle radiologique est indispensable dans tous les cas suspects. Cet examen doit porter sur les régions qui sont le siège le plus habituel de la tuberculose, c'est-à-dire, la région hilaire, les scissures et enfin les régions moyennes et inférieures du poumon. Il est démontré en effet, que les lésions du sommet, si fréquentes chez l'adulte, sont exceptionnelles chez l'enfant. Ceci nous amène au diagnostic précoce de la tuberculose pulmonaire chez les sujets arrivés à la puberté. C'est à ce moment, que sous l'influence de la transformation organique, on voit beaucoup de tuberculoses jusque-là latentes, présenter les signes d'une évolution quelquefois rapide. Dans quelle région trouvons-nous les premiers signes de cette réinfection ? On s'accordait jusqu'ici pour considérer les sommets, comme les régions particulièrement menacées. Depuis quelques années un revirement s'est produit à ce sujet. Sous l'influence des recherches d'Assmann (35), on tend à admettre que le réveil de la tuberculose se fait très souvent dans la région sous-claviculaire. On observe alors aux Rayons X une ombre située en dessous de la clavicule au voisinage de la paroi latérale du thorax. Cette zone répond à un processus exsudatif désigné sous le nom d'infiltration précoce (Fruhinfiltrat).

Haudek (41) accentue les idées d'Assmann et parle de la bénignité des signes radiologiques du sommet. D'autres auteurs sont plus éclectiques et pensent qu'il ne faut pas généraliser. Assmann lui-même d'ailleurs, a eu soin de préciser son point de vue en laissant aux lésions spéciales leur importance dans bon nombre de cas. Quoi qu'il en soit de cette discussion doctrinale, on peut conclure de là, que le simple fait de lésions du sommet visibles aux Rayons X ne suffit pas pour diagnostiquer une tuberculose en activité. Or, chez l'adulte, toute la question est là. Le probème n'est pas de savoir s'il y a, oui ou non, des lésions tuberculeuses mais de savoir, si ces lésions sont à l'état latent ou bien demandent un traitement. La présence de tractus de sclérose, d'épaississements pleuraux ou de ganglions calcifiés, présente seulement un intérêt historique. Ce qu'il importe de préciser, c'est si au milieu de ce tissu dense ne se fait pas par places un travail de ramollissement et si dans ces régions restées jusqu'alors indem-

nes, il n'y a pas un envahissement bacillaire. A cela, on ne peut répondre que par des examens répétés. C'est en comparant des clichés pris à intervalles rapprochés qu'on pourra le mieux s'assurer du processus d'extension de la maladie. Tout le reste est du ressort de la clinique. Ces examens répétés se heurtent, nous le savons à de grosses difficultés pratiques. Et cependant, c'est le seul moyen de préciser le radiodiagnostic dans les cas douteux. Pour permettre de comparer des clichés pris à différentes périodes, il convient de fixer une technique uniforme qui nous mette à l'abri des erreurs. Car, on est surpris de constater combien de petites différences dans la dureté des rayons, la durée du temps de pose et la méthode de développement donneront des résultats discordants. Un cliché fait avec des rayons très mous montrera une surabondance de détails ; un autre obtenu avec des rayons durs, ne montrera plus que de grosses arborisations vasculaires. Il y aura aussi le radiologue « tant pis » qui sera taxé de voir des tuberculeux partout ; et le radiologue « tant mieux » qui n'en verra nulle part. Quelle sera la technique la meilleure pour diagnostiquer la tuberculose au début ? Tout le monde est d'accord pour reconnaître que la radioscopie seule est insuffisante. Il est certain, en effet, que l'écran fluorescent ne possède pas le même pouvoir définissant que le film et que, de plus, l'adaptation parfaite de l'observateur est rarement réalisée. Il en résulte que des lésions peu étendues et peu épaisses échappent facilement à l'examen. Mais il est aussi dangereux, de se passer de l'examen radioscopique qui, seul, peut nous renseigner sur les mouvements pulmonaires médiastinaux et diaphragmatiques et nous fait observer le thorax sous les incidences les plus variées.

En ce qui concerne la radiographie, on est d'accord pour dire qu'elle doit se faire en un temps extrêmement court, de l'ordre du centième de seconde si possible, pour empêcher que les battements du cœur et des vaisseaux ou un léger mouvement respiratoire du malade ne viennent estomper les détails pulmonaires.

Il est désirable aussi que la radiographie se fasse à une distance de un à deux mètres pour empêcher la déformation des ombres et diminuer la production du rayonnement secondaire. La technique de Groedel qui consiste à éloigner en même temps le malade de la plaque, n'a pas trouvé beaucoup d'adhérents.

La question capitale qui divise encore les radiologistes est de savoir s'il faut employer des rayons durs ou des rayons mous. Parmi les défenseurs de cette première méthode nous trouvons notamment Stéphani (2) et tout récemment Herdner (3). Parmi les partisans de la seconde, on peut citer en première ligne Chantraine (57) et Bronkhorst (10). Ce serait dépasser de beaucoup le cadre de ce travail que d'examiner les raisons qui militent en faveur de ces méthodes. Nous nous bornerons à signaler de nouvelles techniques qui ont permis de préciser dans certains cas notre diagnostic.

La première est celle de l'injection intratrachéale de lipiodol par le procédé de Sicard et Forestier. Elle a permis notamment de mettre en évidence les dilatations bronchiques qui échappent souvent à l'examen ordi-

naire, et peuvent être confondues avec la tuberculose. Ce qui limite l'emploi de cette méthode, ce sont ses inconvénients et même ses dangers qui résultent spécialement de l'intoxication cocaïnique et des troubles de la déglutition consécutifs à l'anesthésie pharyngée.

La radiographie stéréoscopique étudiée surtout en France par Dioclès permet de dissocier les ombres et de les répartir sur différents plans, ce qui constitue un progrès évident sur les méthodes courantes.

Enfin Barsony (53) vient de faire connaître un procédé qui permet d'analyser plus complètement la partie moyenne et inférieure des champs pulmonaires. Elle consiste à fléchir fortement le corps du sujet en avant, de façon à obtenir une projection presque axiale du thorax. C'est en somme la position inverse de celle préconisée par Fleischner (*loc. cit.*)

Enfin pour terminer, signalons encore quelques causes d'erreur. Rappelons une dernière fois, que les symptômes radiologiques ne permettent qu'exceptionnellement un diagnostic étiologique. Des grains de poussière dans l'anthracose ou la chalicose pourront ressembler à des tubercules disséminés. La carcinose miliaire en imposera pour de la tuberculose ; une pleurésie enhystée, un kyste à échinocoques, une tumeur carcinomateuse pourront se ressembler extrêmement.

Enfin, la syphilis donnera des images impossibles à différencier d'infiltrations ou de scléroses d'origine bacillaire. Le diagnostic si souvent posé d'obscurité d'un sommet peut provenir d'une scoliose, d'une position oblique du malade, d'un mauvais centrage de l'ampoule, d'une différence d'épaisseur dans les parties molles de l'épaule, de la projection de l'ombre du sterno-mastoïdien, de ganglions cervicaux calcifiés, de lobules de la thyroïde. Assmann (35) a montré qu'à gauche, il faut se méfier de l'ombre sous-clavière. A droite, on a décrit récemment (Velde) comme une nouvelle cause d'erreur, le lobule de la veine azygos, (Barsony et Koppenstein (56), Zawalowsky (33)).

Les affections cardiaques et rénales s'accompagnent de troubles circulatoires avec stase et oedème dans la partie circulatoire. Il en résulte l'exagération des ombres vasculaires et un aspect voilé des champs pulmonaires. Le refoulement du diaphragme par l'ascite ou des tumeurs abdominales donnera une insuffisance d'expansion des sommets. Bref, on le voit, le diagnostic radiologique de la tuberculose pulmonaire est hérissé de difficultés et ne saurait donner des résultats valables que, s'il est soumis à une critique serrée.

Pour répondre aux vœux des organisateurs de ce Congrès nous avons réduit cet exposé à ses éléments essentiels.

Voici nos conclusions :

1° L'examen radiologique du poumon est indispensable, dans tous les cas suspects de tuberculose ;

2° Dans aucun cas, la radioscopie seule ne peut donner les garanties suffisantes pour un diagnostic précoce.

3° La radiographie est le complément indispensable de la radioscopie ;

4° Malgré une technique correcte, les résultats de la radiographie ne constituent que des éléments plus ou moins importants du diagnostic complet.

5° La répétition de l'examen à intervalles rapprochés fournira, dans tous les cas difficiles, un complément d'information.

BIBLIOGRAPHIE

(1) Péhu et Dufourt, *Tuberculose médicale de l'enfance.*

(2) J. Stéphani, *La tuberculose pulmonaire vue aux rayons X.*

(3) R. Gralka, *Röntgendiagnostik im Kindesalter.*

(4) Schinz, Baensch, Friedel, *Lehrbuch der Röntgendiagnostik*, 2te Auflage.

(5) A. Ghon, *Der primäre Lungenherd bei der Tuberkulose der Kinder.*

(6) Alekander und Beekmann, *Röntgenatlas der Lungentuberkulose des Erwachsenen.*

(7) A. Lorey, *Die akute Miliartuberkulose im Röntgenbild. — Ergebnisse der medizinischen Strahlenforschung.* Bd. 1.

(8) F. Hamburger, *Die Tuberkulose des Kindesalters.*

(9) R. Grashey, *Irrtümer der Röntgendiagnostik und Strahlentherapie.*

(10) W. Bronkhorst, *Kontrast und Schärfe im Röntgenbilde.* Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen. Ergänzungsband 39.

(11) Nicol und Schröder, *Die Lungentuberkulose und ihre diagnostic Irrtümer.*

(12) D. L. Bartelink, *Stereography of the chest* (*Acta radiologica*, **10**, 167).

(13) W. Bronkhorst, *Die Röntgentechnik der Lungenaufnahme* (*Acta radiologica*, **10**, 254).

(14) H. Laurel, *Ein Beitrag zur Deutung der sogenannten Ringschatten in der Lunge* (*Acta radiologica*, **10**, 72).

(15) R. G. Allison, *Pulmonary syphilis* (*The American Journal of Roentgenology and radiumtherapy*, **22**, 21).

(16) A. Hartung, *Bronchiectasis. What the use of iodized oil demonstrated relative to diagnosis by ordinary Roen examination* (*The American Journal of Roentgenology*, **22**, 120).

(17) Rolla G. Karshner, *Pulmonary Tuberculosis of infants and children* (*Ibid.*, 226).

(18) Frank Riebel, *Ossiffication of the costal cartillages : their relation to habitue and disease* (*The American Journal of Röntgenology*, **21**, 45).

(19) Kennon Dunham, and V. V. Norton, *Basal tuberculosis* (*Ibid.*, 459).

(20) F. B. Stephenson, *Lobar and central pneumonias in children* (*Ibid.*, 571).

(21) Chantraine et Schulte-Tigges, *Fortschritte auf dem Gebiet der Lungenröntgenaufnahme* (*Beiträge z. K. der Tuberkulose*, 1929, 73/2SS. 117. Ref. in Röfo, **40**, 1).

(22) Dumarest (Hauteville), *Ueber die Röntgendiagnostic der Lungentuberkulose* (*J. M. de Lyon*, 235, 1929 ; Ref. in *Röfo*, **40**, 1).

(23) Schmitz und Baumeister, *Untersuchungen zur Lungenaufnahmetechnik mit Hochleistungsapparaturen* (*Röfo.* **41**, 2, 256).

(24) Bioler (Chicago), *Deutung von Röntgenbildern des Thorax bei Kindern auf der Grundlage von Autopsiebefunden* (*Am. J. Dis. of Children* **38**, 5, 978, 1929).

(25) d'Hour, *Verschärfung des Röntgenbildes eines interlobären Pleuritis durch*

übertriebene Stellung in Lordose (*R. de la tuberculose*, **10**, 4, 57a, 1929 ; Ref. in *Röfo*, **41**, 1).

(26) Fraenkel, *Allgemeine ärtzliche und soziale Gesichtspunkt der Röntgenologie auf dem Gebiet der Tuberkulose* (*Röntgenpraxis*, **1**, 319).

(27) Fleischner, *Entwickelungsgänge der Lungentuberkulose Wienerges. f. Röntgenkunde* (*Röfo*, **41**, 5, 780, 17 Dez. 1929).

(28) Freund, *Ueber die Verlaufsformen der beginnenden Phtise* (*Ibid.*, 783).

(29) D. Marko, *Zur Diagnostik von Pleuralen Adhäsionen* (*Ibid.*, 783).

(30) A. Busi und Paolucci, *Untersuchungen über den Prozentsatz röntgenologisch nachweisbarer latententer Tuberkulosen und Primäraffekte* (*Rinasc. Medica*, 620, 1929; Ref. *Röfo*, **41**, 1, 154).

(31) Herdner, *Les grands instantanés en radiographie. L'exactitude de leur mesure, un compteur précis gradué en 1/1100e de seconde* (*J. de radiologie*, 116, 1930).

(32) Delherm et Morel-Kahn, *Diagnostic des tumeurs du poumon chez l'adulte* (*Ibid.*, 159).

(33) Witold Zawadowski, *Le lobule de la veine azygos* (*Lobule de Wrisberg*). *Sa visibilité sur les radiographies pulmonaires* (*Ibid.*, 273).

(34) Hans Dietlen, *Die Bedeutung der Röntgenuntersuchung der Lungen und des Mediastinums für die innere Medizin.* Bericht über die wissenschaftlichen Sitzungen des achtzehnten Kongresses der D. R. G., 28 bis 30 April 1927.

(35) Assmann. Même sujet (Ibid.).

(36) Haenisch, *Die Bedeutung der Untersuchungstechnik für die Röntgendiagnose der Erkrankungen des Mediastinums und der Lunge* (Ibid.).

(37) Lorey, *Ueber die Kontrastfüllung der Bronchien mit Lipiodol und Iodipin* (Ibid.).

(38) F. Fleishner, *Die Röntgendiagnostik interlobärer und marginaler lobärer Prozesse* (Ibid.).

(39) K. Goette, *Röntgenbefund bei atypischen Pneumonie* (Ibid.).

(40) R. Gassul, *Ueber den gegenwärtigen Stand der Röntgendiagnostik der Lungen-Tuberkulose im Lichte neuerer Ergebnisse der klinischen und experimentellen Forschung* (Ibid.).

(41) M. Haudek, *Ueber die verhältnismässige Bedeutunglosigkeit der Spitzentuberkulose* (Ibid.).

(42) H. Assmann, *Ueber die infraklavikulären Lugeninfiltrationen im Beginn der Tuberkulose jugendlicher Erwachsener und ihr Schicksal* (*Deutsche M. W.*, 781, 1927)

(43) Schmitz und Baumeister, *Untersuchungen zur Lungenaufnahmetechnik mit Hochleistungsapparaturen* (*Röfo*, **41**, 2, 256).

(44) Hohlfelder, *Physikalische Grundlagen der Röntgendiagnostik und die Bedeutung der photographischen Technik für das Röntgenbild der Lungentuberkulose* (*Röntgenpraxis*, **1**, 179).

(45) A. Pickhan, *Ueber Beziehungen der Allergie zum Röntgenbilde bei der Lungen tuberkulose des Kindesalters* (*Röntgenpraxis*, **1**, 491).

(46) Carl Schilling, *Beitrag zur Differentialdiagnose gleichartiger oder ähnlicher Lungenverschattungen* (*Röntgenpraxis*, **1**, 588).

(47) Lestocquoy et Lehmann, *Etude radiographique et anatomique du médiastin, contribution à l'étude de l'adénopathie trachéo-bronchique* (*J. de Rad. et d'Electrologie*, **13**, 337).

(48) Peschel, *Ueber Röntgenbefunde bei atypischen Grippepneumonien* (*Röntgenpraxis*, **2**, 315).

(49) Barsony und Koppenstein, *Röntgenuntersuchung des Lungenspitzenfeldes mit axialer Strahlenrichtung* (*Ibid.*, 326).

(50) F. Melchart, *Beitrag zur Differentialdiagnose der Lungetumoren* (*Ibid.*, 484).

(51) Spiro und R. Becker, *Zür Pathogenese des Frühinfiltrats* (*Ibid.*, 258).

(52) Saupe, *Erfahrungen beim Vergleich von Röntgenbefunden an den Lungen mit den Ergebnissen des Röntgenbildes* (*Ibid.*, 193).

(53) BARSONY, *Röntgenuntersuchung der Lungen in vornüber gebeugter Stellung — Verbeugungsstellung* (*Ibid.*, 409).

(54) F. VOLLMAR, *Ueber den Lobus azygos der rechten Lunge und seine klinische Bedeutung* (*Röfo*, **41**, 5, 731).

(55) A. OTT, *Experimenteller Beitrag zur Röntgendiagnose der miliaren Lungentuberkulose* (*Röfo*, **41**, 3, 404).

(56) BARSONY und KOPPENSTEIN, *Lobus apicodorsalis. Eine bisher unbekannte Lokalisation des Azygoslappen* (*Röfo*, **41**, 3, 459).

(57) H. CHANTRAINE, *Hartstrahl oder Weischstrahlverfahren bie Lungenaufnahmen* (*Röfo*, **33**, 723).

(58) H. FRANKE, *Einige Betrachtungen uber die photographischen Grundlagen des Röntgenbildes* (*Röfo*, **33**, 117).

(59) H. CHANTRAINE, *Ueber Weichstrahlaufnahmen mit der Gleichspannung Maschine Trifas der Elektrizitätswerke «-Sanitas»* (*Röfo*, **38**, 3, 535).

(60) M. PIÉRY, *La tuberculose pulmonaire ;* O. Doin, Paris.

(61) Manoel BE ABREU, *Le radiodiagnostic de la tuberculose pleuro-pulmonaire*, Masson et Cie.

(62) G. KÜSS, *De l'hérédité parasitaire de la tuberculose humaine*, Paris, 1898.

(63) O. ULLRICH, *Zur Röntgenologischen Differentialdiagnose tuberkulöser und nichttuberkulöser Erkrankungen der Brustorgane im Kindesalter* (*Röfo*, 288, 1927).

(64) CALMETTE, *Das Tuberkulosevirus. Präbazilläre Granulämie und Bazillose* (*D. M. Wochensch*, 733, 930).

OBSERVATIONS SUR LE TRAITEMENT DE L'ANÉMIE PERNICIEUSE PAR L'OPOTHÉRAPIE HÉPATIQUE ET GASTRIQUE

par le Dr P. LAMBIN,

Chef de travaux à la Clinique médicale de l'Université de Louvain.

La découverte de l'hépatothérapie de l'anémie pernicieuse par Minot et Murphy a été le point de départ d'un nombre considérable de recherches concernant la pathogénie si obscure de cette affection ; les travaux récents de Castle sur le rôle probable de l'achylie gastrique dans l'apparition de l'anémie pernicieuse et l'application par Sturgis et Isaacs de l'opothérapie gastrique au traitement de la maladie de Biermer ont marqué l'étape suivante dans le progrès de nos connaissances.

Comme il ne peut être question de faire ici l'exposé critique de toutes les données publiées jusqu'à présent, nous nous bornerons à envisager les plus importantes des questions à l'étude desquelles nos recherches nous ont permis d'apporter une contribution personnelle.

Nous envisagerons successivement : 1° la question des anémies pernicieuses hépato-résistantes ; 2° la valeur de l'opothérapie gastrique ; 3° les modifications morphologiques du sang provoquées par le traitement ; 4° les variations de la bilirubinémie et de la cholestérinémie au cours de l'anémie pernicieuse.

1° *Les anémies pernicieuses hépato-résistantes.* — Alors que les publications de Minot et de ses collaborateurs ne mentionnaient que des succès, quelques auteurs ont signalé des cas rebelles à l'opothérapie hépatique. Emile-Weil notamment estime que les cas hépato-résistants sont relativement nombreux. La statistique de la Clinique médicale de Louvain, qui porte actuellement sur une cinquantaine de cas, ne compte que des succès chez les malades atteints d'anémie pernicieuse avérée qui ont ingéré une quantité de foie égale à 200-250 gr. par jour ; elle concorde donc entièrement avec les résultats des auteurs américains. Sans que nous puissions nier de façon absolue l'existence d'anémies pernicieuses hépato-résistantes, nous estimons qu'elle n'a pas été prouvée jusqu'ici : seule l'action inhibitrice des complications infectieuses sur la régénération sanguine doit être considérée comme établie.

Lorsque les patients n'obéissent pas à un extrait hépatique, il faut avant tout s'assurer, ainsi que l'ont fort bien signalé Blum et van Caulaert, qu'on n'a pas simplement eu affaire à un produit insuffisamment

actif. Nous avons apprécié quantitativement, par la numération quotidienne des réticulocytes, l'activité de huit préparations commerciales de cinq origines différentes : seuls l'extrait américain Lilly et l'extrait danois Exhepa ont fait preuve d'une activité comparable à celle du foie ; deux préparations avaient une activité pratiquement nulle ; quatre autres montraient environ le cinquième de leur activité nominale.

Le diagnostic d'anémie pernicieuse doit en outre être établi non seulement par la constatation d'une anémie hyperchrome avec leucopénie et lymphocytose relative, mais par la détermination de la bilirubinémie, qui est augmentée dans l'anémie pernicieuse en période de déglobulisation, alors qu'elle ne l'est pas dans l'anémie aplastique. Nous avons personnellement observé deux cas d'anémie hyperchrome, où la découverte avant le traitement d'un taux de bilirubine normal nous permit d'exclure l'anémie pernicieuse et de prévoir l'échec de l'opothérapie hépatique.

2° *Valeur de l'opothérapie gastrique.* — Sturgis et Isaacs, confirmés par d'autres auteurs, ont signalé les remarquables résultats obtenus dans l'anémie pernicieuse au moyen de l'administration d'estomac de porc, sous forme de poudre ou de tissu frais. Nous avons recherché si la muqueuse et la musculaire données séparément avaient le même effet. Dans deux essais successifs, la poudre de musculaire, à une dose correspondant à 300 gr. de tissu frais, ne nous a donné aucun résultat. La muqueuse, par contre, s'est montrée capable de déclancher la crise réticulocytaire qui annonce la rémission ; cette activité était plus marquée lorsque la poudre de muqueuse était donnée en même temps qu'un repas carné que si on l'administrait sans autres protéines animales.

Nous nous sommes également demandé si les anémies hyperchromes du type aplastique réfractaires à l'hépatothérapie n'obéiraient peut-être pas à l'opothérapie gastrique. Dans ce but, nous avons administré de la poudre d'estomac total à un malade atteint d'anémie aplastique, qui présentait de l'achylie gastrique ; le traitement resta sans effet.

3° *Modifications morphologiques du sang produites par le traitement.* — Les recherches de Minot et de ses élèves ont établi que l'administration d'une préparation de foie active est suivie, généralement dès le quatrième jour, d'une augmentation du taux des réticulocytes qui atteint son maximum le plus souvent du septième au neuvième jour. Elles ont montré que l'intensité de cette réaction était, dans certaines limites, proportionnelle à la quantité de substance active ingérée et en raison inverse du nombre initial des globules rouges. Nous avons personnellement pu nous rendre compte de la précision des renseignements que l'observation de la crise réticulocytaire permet de fournir pour l'étude quantitative de l'activité des préparations hépatiques. Dans nos essais de standardisation, nous avons procédé comme suit :

Nous commençons par administrer la préparation à l'essai ; lorsque la crise réticulocytaire qu'elle permet d'obtenir a dépassé depuis deux ou

trois jours son sommet, nous la remplaçons par une quantité de foie permettant d'obtenir un effet sensiblement maximal, soit 250 grammes. Si la préparation essayée a une activité égale ou supérieure à celle du foie, la courbe des concentrations réticulocytaires continue à descendre. Si elle se relève et dépasse le premier sommet, c'est que le produit étudié a une activité inférieure à celle de la glande hépatique totale. Le rapport de la première élévation du taux réticulocytaire à la seconde, toutes deux étant calculées à partir du taux initial, permet d'apprécier quantitativement la valeur de la préparation étudiée.

Si la crise réticulocytaire a attiré jusqu'ici l'attention de nombreux chercheurs, il n'en est pas de même pour les variations du nombre des érythroblastes circulants. Jungmann, Introzzi ont même affirmé qu'il n'existait pas de crise érythroblastique chez les patients traités au foie. Cette conclusion provient selon nous, de ce que ces auteurs n'ont pas pratiqué des examens de sang suffisamment rapprochés. La crise érythroblastique est en effet plus précoce et de plus courte durée que la crise réticulocytaire. Elle présente en général son acmé vers le cinquième jour après le début du traitement et est pratiquement terminée le jour où les réticulocytes atteignent leur taux maximum. Le plus grand pourcentage de mégaloblastes basophiles et polychromatiques s'observe au début de la crise; vers la fin, ce sont les érythroblastes à noyau très coloré ou déjà pycnotique qui sont presque exclusivement représentés. Comme la crise réticulocytaire, elle est beaucoup plus intense chez les malades profondément anémiés que dans les cas de gravité moyenne : elle est à peine indiquée chez les patients ayant avant le traitement plus de 2.500.000 globules rouges. Pour un nombre de globules rouges déterminé, elle est d'autant plus importante que le traitement est plus énergiquement conduit. Nous avons constaté en effet qu'elle était notablement moins marquée lorsqu'une préparation très active était administrée après plusieurs jours de traitement au moyen d'un extrait moins puissant.

Dans les cas où la crise érythroblastique est intense, il est possible de constater que le nombre des hématies à restes nucléaires (corps de Jolly uniques ou multiples, anneaux de Cabot) atteint son maximum immédiatement après l'acmé de la crise érythroblastique et avant celui de la crise réticulocytaire. Le sang prélevé vers le cinquième et le sixième jour, constitue un matériel de choix pour l'étude des anneaux de Cabot. Sauf quand elle est fruste, la crise érythroblastique s'accompagne d'une crise myélocytaire, à l'occasion de laquelle les formes les plus jeunes de la série myéloïde (promyélocytes, myéloblastes à granulations azurophiles et même myéloblastes non granuleux) peuvent passer dans le sang.

Postérieurement à la crise érythroblastique, se développe fréquemment une poussée de monocytose, qui peut être très intense même chez les malades peu déglobulisés.

Nous donnons ci-dessous à titre d'exemple, les chiffres trouvés, pour les réticulocytes, les érythroblastes, les hématies à restes nucléaires, les cellules myéloïdes immatures et les monocytes dans deux cas énergique-

ment traités au foie total et qui avaient respectivement avant le traitement 1.050.000 et 2.600.000 globules rouges.

Premier cas

Jours de traitement	Globules rouges	Réticulocytes	Erythroblastes	Hématies à corps de Jolly	Anneaux de Cabot	Cellules myél. immatures	Monocytes o/o
			pour 300 globules blancs				
0	1.050.000	1,4 %	0,33	0	0	0	2,3
4	—	5,3	50	7	0	35	5
5	—	—	161	12	0	38	4
6	—	10,8	58	9	4	20	6,7
7	—	29	14	8	3	3	8
8	—	34,6	2	2	très rares	0,33	11
15	2.100.000	5,2	0	0	0	0	10,7

Deuxième cas

Jours de traitement	Globules rouges	Réticulocytes	Erythroblastes	Hématies à corps de Jolly	Anneaux de Cabot	Cellules myél. immatures	Monocytes o/o
			pour 300 globules blancs				
0	2.600.000	2,2 %	0	0	0	0	8,8
3	—	2,9	0	0	0	0	7,7
4	—	4,7	3	3	0	0	9
5	—	8,1	0	0	0	0	8,3
6	—	9,8	0	0	0	0	10
7	—	7	0	0	0	0	14
13	2.980.000	1,7	0	0	0	0	17

4° *Variations de la bilirubinémie et de la cholestérinémie.* — L'existence d'une hyperbilirubinémie au cours de l'anémie pernicieuse en période d'état est un fait bien connu depuis plusieurs années ; la fréquence de l'hypocholestérinémie a été signalée aussi par bon nombre d'auteurs. Nous ne possédons toutefois que peu de données sur les rapports unissant les taux de bilirubine et de cholestérine entre eux et au nombre des hématies. Le travail le plus fouillé paru sur la cholestérinémie au cours de l'anémie pernicieuse, celui de G. L. Muller, ne compare pas le taux de cholestérol à celui de bilirubine. Nos recherches sur cette question ont été entreprises en collaboration avec J. Steenhoudt et seront publiées ailleurs in extenso.

A l'aide de la méthode de Myers et Wardell, qui donne des chiffres compris entre 150 et 190 mg. de cholestérol total pour le sérum normal, nous avons noté, avant tout traitement, dans dix cas d'anémie pernicieuse, dont le nombre de globules rouges variait entre 700.000 et 2.600.000, des taux de cholestérine compris entre 90 et 142 milligrammes. La valeur de la cholestérinémie n'est liée d'aucune façon au nombre des hématies ni au taux d'hémoglobine : la malade la moins anémique de la série (2.600.000 gl.r.) nous a donné le chiffre relativement bas de 101 milligrammes. Il existe par contre un certain rapport inverse entre les concentrations en bilirubine et en cholestérine. D'une façon générale, les fortes hypocholestérinémies correspondent à de fortes hyperbilirubinémies. Dans notre série, les quatre malades qui avaient moins de 120 mg. de cholestérine, possédaient tous des bilirubinémies supérieures à 1.50 ; parmi les six cas ayant plus de 120 mg. de cholestérol, cinq avaient une bilirubinémie inférieure à 1.50 ; le sixième, avec une cholestérinémie de 126 mg., avait 1.64 mg. de bilirubine.

Concernant les variations de la cholestérinémie dans un même cas, sous l'effet du traitement, nous avons pu faire les constatations suivantes :

Dans les cas où la préparation de foie ou d'estomac administrée exerce une action nulle, le nombre d'hématies restant à peu près stationnaire, cholestérinémie et bilirubinémie ne subissent pas de variations importantes. Mais si la préparation ingérée est active, la cholestérinémie se relève et redevient normale en dix à quinze jours, chez les patients recevant 250 gr. de foie par jour ou un extrait équivalent. La chute de la bilirubinémie est en règle générale plus rapide que l'ascension de la cholestérinémie : la limite supérieure de la normale (0.9 mg.) est souvent atteinte après huit jours de traitement.

Chez les patients traités au foie total, le taux de cholestérine continue à monter après le quinzième jour. Les dosages pratiqués de trois semaines à trois mois après le début du traitement nous ont presque toujours montré l'existence d'une hypercholestérinémie. Ainsi, une cholestérinémie, passée en treize jours de 101 à 146 mg. était le vingt et unième jour de 272 mg. ; une autre, passait en onze jours de 128 à 161 mg. et atteignait 221 mg. le dix-huitième. Cette hypercholestérinémie n'est pas définitive, car nous avons trouvé des valeurs normales chez les malades soumis depuis plusieurs

années au régime de Minot ; il se produit à la longue une adaptation de l'organisme à ces conditions diététiques anormales.

Nous n'avons pas vu l'hypercholestérinémie de la troisième semaine chez les patients traités à l'aide d'extrait hépatique ou de poudre d'estomac : l'hypocholestérinémie faisait simplement place dans ces cas à un taux de cholestérine normal. Aussi croyons-nous que l'apparition de l'hypercholestérinémie n'est pas conditionnée par l'ingestion du principe antipernicieux, mais bien par un ou plusieurs autres constituants du foie. Nous avons vu cette hypercholestérinémie tardive apparaître après ingestion de 250 gr. de foie chez deux sujets normaux et chez un patient atteint d'anémie plastique hépato-résistante. Un autre sujet normal, après avoir ingéré quotidiennement durant trois semaines 250 gr. de rognon, ne présenta pas d'hypercholestérinémie, bien que le rognon possède, comme on sait, un pouvoir antipernicieux analogue à celui du foie.

La simple disparition de l'hypocholestérinémie, contrairement à l'apparition de l'hypercholestérinémie, fait partie intégrante du mécanisme de la rémission.

Nous ne croyons pas que ce soit l'augmentation du taux de cholestérine qui déclanche celle-ci, car l'élévation de la cholestérinémie est généralement encore peu importante au moment où les signes de régénération sont déjà intenses. Etant donné l'antagonisme entre les variations de la bilirubinémie et de la cholestérinémie, nous estimons plutôt, avec G. L. Muller, que le retour de la cholestérinémie à la normale est la conséquence d'une modération de l'activité excessive du système réticulo-endothélial.

CONSIDÉRATIONS PHYSICO-CHIMIQUES SUR LE RACHITISME ANIMAL

par F. LIEGEOIS et A. LEFEVRE

Agrégés à l'Ecole de médecine vétérinaire.

Nos recherches ont porté sur des chiens et des porcs atteints de rachitisme spontané. Nous avons à dessein écarté le rachitisme expérimental, car il est réalisé dans des conditions qui s'éloignent trop des conditions étiologiques du rachitisme observé en clinique. Nous avons limité nos observations aux seuls malades des espèces porcine et canine pour diverses raisons : outre que les malades fournis par ces espèces sont suffisamment nombreux, les signes cliniques du rachitisme porcin et canin, d'une netteté qui entraîne la conviction, constituent un critère d'une valeur suffisante et d'une simplicité incontestable ; pour certains chiens d'ailleurs, l'existence du rachitisme fut confirmée par l'examen histologique ; enfin, de tels malades peuvent être facilement hospitalisés, condition indispensable pour l'étude des constantes du sang dont l'exactitude est soumise à des exigences rigoureuses de régime et d'entretien.

L'acidose du rachitisme

Etant donnée la carence minérale de l'os rachitique, on s'est demandé si les méfaits du rachitisme, comme ceux de l'ostéomalacie, n'étaient pas dus à un excès d'acides en circulation dans les humeurs. Devant la simplicité de cette conception, divers chercheurs ont incriminé des acides fixes pouvant naître d'un trouble du métabolisme, tels que les acides acétique, lactique, oxalique, formique. Wachsmuth accusa l'acide carbonique. La preuve la plus formelle d'une acidose résidait dans la constatation d'une hypoalcalinité urinaire et d'une augmentation de l'ammoniaque des urines. Des essais de titrimétrie appliquée au sang furent tentés et donnèrent des résultats contradictoires : Stöltzner trouva l'alcalinité du sang normale ; Moussu, au contraire, observa une diminution de cette alcalinité, celle-ci étant exprimée en soude : alors que le sérum du porc sain titre 0,336 milligramme de soude par centimètre cube, celui du porc malade au début titre 0,210 milligramme, puis 0,168 milligramme, et celui prélevé à la dernière phase de la maladie ne titre plus que 0,120 milligramme. Ces dernières constatations pouvaient présenter une certaine valeur puisqu'elles furent faites sur du sérum d'animaux sains et malades ; cependant, à la lumière des données modernes sur l'acidité ionique, on peut objecter qu'il y a loin de la réaction du sérum *in vitro* à celle du sang

in vivo ; ainsi que l'a montré Gallot chez le cheval, le *p*H moyen du sérum est 7,1 alors que le plasma accuse 7,40; ce *pH* du sérum subit ensuite des variations rapides, importantes et de sens variable, selon le procédé de conservation. Enfin, Liénaux et Huynen, étudiant l'action des divers régimes sur l'éclosion du rachitisme, montrèrent l'action favorisante des régimes pauvres en chaux et riches en acides phosphorique et silicique ; de ces constatations ainsi que des résultats obtenus par l'ingestion d'acide phosphorique chez le lapin, ils conclurent à l'action rachitigène de cet acide ; en précurseurs, mais cependant sans l'avoir démontré, ils estimèrent que l'ostéomalacie et le rachitisme ne sont que des modalités particulières de l'acidose, ce terme s'appliquant d'après Forbes à tous les états organiques caractérisés par une prédominance des acides sur les bases.

En l'absence de preuves décisives, rien d'étonnant que cette notion d'acidose rachitique eût été admise et rejetée tour à tour ; pour mettre en évidence des variations de l'alcalinité sanguine compatibles avec la vie, il fallait des méthodes plus délicates que la titrimétrie, capables d'exprimer l'acidité actuelle d'un milieu, c'est-à-dire sa concentration en ions H ou CH. Nous pensons que Blum, Delaville et Van Caulaert furent les premiers à appliquer ces méthodes à l'étude du rachitisme ; alors que l'enfant normal a une réserve alcaline (R. A.) de 52 à 56 volumes, le rachitique n'a que 39 à 46 ; ils conclurent de là à l'existence d'une acidose rachitique. Ces vues furent confirmées par les observations de Leenhart et Chaptal ; semblables constatations furent faites par Nowak et Pages au cours de l'ostéomalacie.

Nous nous sommes demandé si, chez l'animal rachitique n'ayant jamais été traité, l'équilibre acide-base du sang n'était pas de même dévié dans le sens d'une acidose.

Nos déterminations de *p*H sont faites par la méthode de Hastings et Sendroy : chez le chien, le sang est prélevé sans stase à la jugulaire ; chez le porc, qui ne peut être saigné que par surprise, nous utilisons un mélange de sang veineux et artériel prélevé par caudotomie, l'extrémité de la queue plongeant dans la paraffine.

Ces recherches physico-chimiques n'ayant pas fait l'objet de nombreux travaux chez les animaux, nous avons dû au préalable établir les constantes acido-basiques chez les espèces qui nous occupaient ; chez des chiens sains différents, comme chez un même chien à différents moments, nous trouvons comme limites du *p*H du sang veineux 7,36 et 7,43, moyenne 7,40 ; chez différents porcs normaux, le sang artério-veineux nous a donné des limites plus élevées, 7,43 et 7,52, moyenne 7,46. Le CO_2 total est calculé par l'appareil de Van Slyke ; les oscillations s'étendent chez le chien normal de 49 à 58 volumes pour cent, moyenne 54; chez le porc sain de 49 à 61, moyenne 54. Calculant le bicarbonate en nous servant de la table de Van Slyke, nous avons établi le rapport $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ qui nous paraît être le meilleur reflet de l'équilibre acide-base ; chez un

même chien à des moments différents, de même que chez des chiens différents, ce rapport s'étend de 1/19,5 à 1/21, moyenne 1/20,3 ; chez divers porcs normaux, nous l'avons trouvé plus élevé, de 1/21,7 à 1/26, moyenne 1/22,5.

Après avoir, par de multiples déterminations, établi ces constantes chez des chiens et des porcs jeunes, nous avons recherché si de petites saignées répétées n'étaient pas susceptibles de modifier ces constantes ; nous n'avons trouvé que des variations à peine appréciables et qui sont de l'ordre de celles que l'on trouve d'un examen à l'autre ; nous avons ainsi écarté l'objection que les modifications que nous avons observées au cours du rachitisme pourraient être imputables aux saignées.

Enfin, tous nos animaux se trouvaient dans des conditions d'hospitalisation et d'alimentation identiques ; en ce qui concerne les chiens, les sujets qui nous ont fourni les taux normaux peuvent être considérés comme des témoins puisque leur condition fut, en tous points, alimentation et entretien, semblable à celle des malades. Chacun de ceux-ci a fait l'objet de plusieurs examens dont les résultats furent toujours concordants, ce qui exclut l'idée d'un trouble acido-basique accidentel.

Une première série de quatre chiens rachitiques nous a fourni les moyennes suivantes : pH, 7,37, extrêmes 7,33 et 7,39 ; CO_2 total 45, extrêmes 37 et 49 ; $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/18, 8, extrêmes 1/17 et 1/19,8. Une seconde série de neuf chiens rachitiques nous a donné des moyennes semblables ; pH 7,36, extrêmes 7,34 et 7,38 ; CO_2 total 46, extrêmes 44 et 49 $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/18,4, extrêmes 1/17,3 et 1/19.

Chez le seul chien ostéomalacique que nous avons pu examiner et où le diagnostic fut confirmé par la radioscopie, nous avons trouvé pH 7,37, CO_2 total 43, $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/18,5.

Chez quatre porcelets rachitiques, nous avons trouvé les moyennes suivantes : pH 7,36, extrêmes 7,34 et 7,40 ; CO_2 total 36, extrêmes, 29 et 41 ; $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/18,6, extrêmes 1/17,4 et 1/19,9.

Si l'on compare ces chiffres à ceux fournis par des sujets normaux se trouvant dans les mêmes conditions, il faut bien reconnaître que nos malades ont présenté constamment un pH se tenant à la limite inférieure des chiffres normaux, une R. A. en-dessous de la limite inférieure normale et une valeur du rapport $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ supérieure à 1/20. L'examen de ces chiffres nous autorise à conclure que chez le chien et le porc atteints de rachitisme spontané et n'ayant jamais subi de traitement, l'équilibre acide-base est troublé dans le sens d'une acidose non gazeuse presque toujours compensée. Si l'on rapproche ces constatations faites chez l'animal des observations faites au cours du rachitisme infantile, on peut, nous semble-t-il,

considérer l'acidose non gazeuse compensée comme un trouble humoral constant du rachitisme.

Il nous a paru intéressant de poursuivre l'étude de ce trouble humoral au cours du traitement, afin de vérifier si celui-ci entraînait une normalisation de l'équilibre acide-base.

Chez un chien traité à l'huile de foie de morue et dont les moyennes avant le traitement étaient *p*H 7,38, CO_2 total 41, $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/19, nous trouvons dès le quatorzième jour *p*H 7,43, CO_2 total 46, $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/21,4.

Chez neuf chiens dont les moyennes initiales étaient *p*H 7,36, CO_2 total 46, $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/18,4, l'administration de stérols irradiés (vigantol) porta ces chiffres à *p*H 7,43, CO_2 total 50, $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/21,6.

On voit par là que l'huile de foie de morue et surtout les stérols irradiés produisent entre autres effets une normalisation manifeste de l'équilibre acide-base, c'est-à-dire un relèvement du *p*H, du CO_2 total et une réduction du rapport $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$.

Cette conclusion paraît devoir s'appliquer à l'ostéomalacie si l'on s'en réfère aux résultats obtenus chez le seul malade que nous pûmes traiter au vigantol : en huit jours, le *p*H passe de 7,37 à 7,43, le CO_2 total de 43 à 50, $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ de 1/18,5 à 1/21,7.

Ces résultats furent obtenus par les seuls stérols irradiés à l'exclusion de tout autre traitement et sans modification aucune du régime ; ils furent assez précoces, car nous pûmes les surprendre dès le huitième jour du traitement. Une fois acquis, ces gains se maintiennent malgré les interruptions du traitement ; en effet, des suspensions de traitement de treize et trente jours ne nous ont pas permis d'observer un retour à l'état initial.

Cette influence alcalosante des stérols irradiés paraît subordonnée à un trouble préalable de l'équilibre acide-base, car chez des chiens normaux l'administration de doses thérapeutiques de vigantol ne modifie aucunement l'équilibre acide-base ; chez des sujets sains dont les moyennes étaient *p*H 7,43, CO_2 total 53, $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/21,7, l'administration de vigantol pendant douze jours donna *p*H 7,43, CO_2, total 52, $\frac{H_2CO_3}{Na\ HCO_3}$ 1/21,7.

La normalisation de l'équilibre acide-base ne consiste certainement pas en l'apport de radicaux basiques, car les produits que nous avons employés ont une réaction franchement acide. Sans pouvoir pénétrer le mécanisme de l'action des stérols irradiés, nous devons cependant faire remarquer que le *p*H paraît se relever plus rapidement que la R. A. ; cela ressort clairement de l'examen des moyennes obtenues : pour un *p*H montant de 7,36 à 7,43, CO_2 total ne progresse que de 46 à 50 ; cela se remar-

que surtout chez certains sujets où nous avons trouvé des décalages plus marqués encore, tel notre chien VI où le *p*H passe de 7,38 à 7,44 alors que CO_2 ne va que de 44 à 49, chez le VII où le *p*H passe de 7,36 à 7,46 et le CO_2 de 47 à 49, chez le X où le *p*H passe de 7,36 à 7,44 et CO_2 de 47 à 50. Il semble, à considérer ces chiffres, que la tendance à l'alcalose obtenue par les stérols irradiés ne soit pas due à un excès de substances à réaction alcalinique : nous ferions volontiers rentrer cet état dans les troubles de l'équilibre acide-base par viciation de la régulation neutralisatrice ; dans ces derniers, d'après Bigwood, il n'y aurait plus de parallélisme entre les fluctuations du CO_2 libre et celles du CO_2 combiné, ainsi que cela se voit dans certaines affections convulsivantes (épilepsie essentielle). Encore n'est-ce là qu'une présomption, car pour vérifier cette opinion, il nous faudrait pouvoir doser séparément le CO_2 libre et le CO_2 combiné.

La calcémie au cours du rachitisme

Parallèlement à ces recherches sur l'équilibre acide-base des animaux rachitiques, nous avons étudié la calcémie totale tant au point de vue qualitatif que quantitatif.

Les avis sont très partagés sur le taux du calcium sanguin des rachitiques : chez l'homme, Stheeman, Bonamour, Badoll, Richter-Quittner ne trouvent pas d'hypocalcémie, tandis que Longo, J. Howland et Mariott signalent une diminution du calcium sérique.

Alors que la plupart des auteurs visent le calcium du sérum, nos chiffres intéressent le calcium total du sang complet ; pour le déterminer, nous avons employé la méthode de Clark.

Chez des chiens normaux, nous avons trouvé des chiffres oscillant autour de 75 mg. p. 1000, d'accord en cela avec Mazocco. Chez les chiens rachitiques, nous avons noté des chiffres variablès s'étendant de 62 à 100 mg. p. 1000 ; en comparant ces chiffres au taux que nous considérons comme normal chez le chien, le taux du Ca total de sept chiens rachitiques s'est montré supérieur à la normale dans quatre cas, normal dans un et légèrement inférieur dans deux; ces constatations cadrent avec celles de Marxer qui, utilisant la méthode de Waard chez des poulains, des veaux et des porcs rachitiques, trouve que la calcémie peut être inférieure, égale ou supérieure à la normale. Nos observations jointes à ces dernières nous paraissent suffisantes pour admettre que la calcémie totale du sang complet ne présente pas de modifications notables ou caractéristiques au cours du rachitisme non traité.

Ceci nous autorise à rejeter l'hypothèse d'une insuffisance calcique comme cause du rachitisme.

Cependant la calcémie n'est pas indifférente au traitement par les stérols irradiés. Chez des chiens rachitiques que nous avons suivis avant tout traitement et au cours du traitement par le vigantol, nous avons pu faire une constatation qui n'a pas été sans nous surprendre : chez tous, nous avons remarqué que le vigantol déterminait une hypocalcémie ma-

nifeste. Cette chute du Ca total paraît d'autant plus prononcée que le taux initial de la calcémie est plus élevé ; là où la calcémie primitive dépassait la normale (chiens II, III, IX, X), la chute du Ca atteignit 30 % ; chez le IV où le taux initial était normal, le déficit fut de 24 % ; enfin chez les VII et VII, où il existait primitivement de l'hypocalcémie, la réduction ne fut que de 12 %. A l'encontre de ce que l'on observe pour l'équilibre acide-base, les interruptions de traitement relèvent la calcémie en la ramenant à peu près à son taux initial ; cette diversité d'attitude vis-à-vis des stérols irradiés semble indiquer que les fluctuations de la calcémie totale sont sans rapport immédiat avec l'équilibre acide-base. Nos constatations corroborent celles que Marxer a faites chez le cheval, le bœuf et le porc et d'où il conclut que la guérison du rachitisme coïncide avec un relèvement du phosphore et un abaissement du calcium sanguin lorsque le taux initial de ce dernier est supérieure à la normale.

Dans l'étude du rôle biologique joué par le Ca sanguin, il y a lieu de retenir que celui-ci revêt diverses formes ; une diffusible et une non diffusible. La première comprend d'une part des sels calciques ionisés, qui représentent environ 1/5 du calcium total, et d'autre part des sels non ionisés, qui forment 1/5 à 2/5 de la masse totale ; la deuxième forme est représentée par du Ca fixé aux protéines ou Ca colloïdal qui est évalué à 2/5 à 3/5 du Ca total. Cet état physico-chimique du Ca sanguin est conditionné par l'équilibre acide-base ainsi que l'ont montré Roma et Takahashi ; d'après eux, en effet, $Ca = K \times \frac{H}{HCO_3}$; en raison de l'imprécision de la valeur de K (=350) de cette formule, les chiffres de Ca ionisé que nous avons obtenus par le calcul n'ont pas le mérite d'une exactitude rigoureuse, mais ils sont tout au moins comparables entre eux ; à ce titre, ils indiquent la tendance de l'ionisation calcique au cours du rachitisme. Sur douze chiens rachitiques, nous trouvons une moyenne de 30 milligr. de Ca + + p. 1000, extrêmes 27,6 et 33,7 au lieu d'une moyenne de 25 ; chez les porcs, les différences sont plus sensibles : la moyenne de 21 mg. p. 1000 à l'état normal passe à 39, extrêmes 31 à 50 chez les porcelets rachitiques.

La dépendance de l'ionisation calcique vis-à-vis de l'équilibre acide-base faisait prévoir cette augmentation du taux du Ca ionisé. Le Ca colloïdal se modifiant avec la réaction du milieu, c'est à ses dépens, autrement dit aux dépens du Ca non diffusible, que se fait l'augmentation du Ca ionisé ou diffusible ; ce fait est confirmé par les recherches de Blum qui observe que, dans certains cas d'acidose et particulièrement dans l'ostéomalacie, le Ca sanguin est presque entièrement ultrafiltrable.

Enfin, dès que la tendance à l'alcalose est déclanchée par les stérols irradiés, on note une chute du Ca ionisé qui se stabilise aux environs de 24 ; tout comme l'équilibre acide-base, ce taux se maintient malgré les interruptions de traitement.

Si la controverse au sujet de l'acidose du rachitisme nous paraît devoir être close, d'autres questions surgissent. Celle qui se présente d'abord concerne l'origine de cette acidose : étant donné qu'il s'agit d'une acidose non gazeuse, nous pouvons éliminer l'acide carbonique et rejeter définitivement l'opinion de Wachsmuth. L'acidose non gazeuse peut résulter de mécanismes divers, déperdition de radicaux basiques ou bien apport exagéré d'acides fixes. La première éventualité ne pourrait se vérifier que par un bilan sévère des ingesta et des excreta ; en tout cas, comme elle peut se réaliser au cours des diarrhées, nous devons faire observer que de la deuxième série de nos chiens rachitiques aucun n'a jamais présenté de troubles intestinaux au cours de l'hospitalisation ; semblable remarque fut faite par Liénaux et Huynen à propos de chiens ostéomalaciques rencontrés pendant la guerre. Dans la deuxième éventualité, l'excès d'acides fixes en circulation peut être d'origine exogène ou endogène. L'alimentation peut être source d'acidose par apport exagéré de radicaux acides ; si nous devions nous en référer exclusivement aux malades que nous avons suivis pendant un temps suffisamment long, nous devrions écarter ce processus, car tous nos chiens étaient soumis à un régime alimentaire (pain et lait) n'entraînant aucun trouble humoral chez leurs témoins commensaux. Cependant, l'acidose d'origine alimentaire a été défendue par bon nombre d'auteurs ; Ingle estime que l'ostéomalacie peut être favorisée par les aliments dans lesquels il y a prédominance d'acide phosphorique par rapport à la chaux ; Liénaux et Huynen considèrent que bien des cas d'ostéomalacie et de rachitisme chez l'animal sont dus à une alimentation pauvre en chaux, riche en acide phosphorique (graines, farines, sons, tourteaux) ou en acide silicique (foin de graminées ou de prairies marécageuses). A l'encontre de ces observations, Hendrickx signale le cas de pâtures à rachitisme dont l'herbe contient une plus forte proportion de chaux que d'acide phosphorique ; d'après Germain, l'ostéomalacie évolue sur les terrains pauvres en acide phosphorique ; d'un autre côté, les auteurs américains ont montré que ce qui importe dans la production du rachitisme expérimental c'est la déficience du phosphore par rapport au calcium. Ces données contradictoires commandent la réserve à l'égard du rôle de l'alimentation dans la genèse de l'acidose. Quant au rôle du métabolisme, s'il est possible et même vraisemblable, il n'est pas démontré. En somme, si l'acidose est réelle dans le rachitisme, son origine n'est pas établie.

Quelle que soit l'origine de cette acidose, on est en droit de se demander si elle joue réellement un rôle dans le genèse du rachitisme. Est-elle efficiente ou simplement contingente comme dans la néphrite ou le diabète ? S'il est vrai que dans certains états s'accompagnant d'acidose, telle la grossesse, on peut observer une décalcification osseuse, si une acidose diabétique peut appauvrir les os en calcium (Gerhard, Schlesinger), les troubles d'ostéoporose ainsi produits ne sont pas comparables aux lésions du rachitisme ou de l'ostéomalacie ; aussi ne peut-on tirer argument de ces constatations, pas plus d'ailleurs que de décalcifications

obtenues *in vitro* par les acides, pour accorder à l'acidose un rôle efficient dans le rachitisme.

Bien des chercheurs ont essayé de reproduire le rachitisme par l'administration d'acides. Il est difficile de se prononcer sur la valeur réelle des résultats obtenus, tant positifs que négatifs, si ceux-ci ne s'appuient pas sur le contrôle d'une critère histologique suffisamment sévère, car le rachitisme peut exister sans lésions extérieures grossières ; au surplus la constatation d'un ramollissement osseux ne suffit pas pour conclure à l'action rachitigène d'un acide. Heitzmann, Siedamgrosky et Hofmeister. employant l'acide lactique, obtinrent du ramollissement de l'os ; par contre, Tripier, Heits, Delcourt, Albarel, Spillmann, Gayet et Bonnet n'aboutirent à aucun résultat. Liénaux et Huynen firent leurs essais en employant l'acide phosphorique et contrôlèrent leurs résultats par des examens histologiques ; ils firent choix de cet acide dans le but de vérifier l'influence rachitigène d'une alimentation riche en acide phosphorique ; en ajoutant cet acide à la ration de lapins, ils constatèrent dans certains cas les lésions propres au rachitisme ; dans d'autres cas, leurs sujets d'expériences moururent intoxiqués ; dès lors, il est permis de se demander si les lésions rachitiques observées furent le fait de l'acide phosphorique lui-même ou de lésions d'intoxication, hépatiques ou rénales suffisantes pour troubler le métabolisme.

D'ailleurs, le jour où l'on aura mis en évidence d'une façon certaine le rôle rachitigène d'un acide, il restera à démontrer son mode d'action, car il serait difficile d'admettre un mécanisme analogue à la décalcification *in vitro*. A ce point de vue, Blum a donné sur le rôle de l'acidose l'interprétation suivante : la fixation du calcium sur les protéines du tissu ostéïde comme sur les protéines sanguines n'est possible que dans des conditions bien déterminées du milieu. L'affinité de ces protéines pour les bases, en l'occurrence le calcium, est fonction de la réaction du milieu ; dans les limites habituelles du *p*H sanguin, les protéines ont un caractère acide et fixent le calcium ; le *p*H diminuant, ces protéines se rapprochent de leur point isoélectrique et perdent de leur affinité pour les bases ; la fixation du calcium se ralentit, ce qui se traduit par une augmentation du calcium ultrafiltrable. Cette façon de voir paraît plausible pour le sang si l'on s'en rapporte aux constatations faites par Blum sur l'augmentation du calcium sanguin diffusible dans les processus s'accompagnant d'acidose ; d'autre part, nous savons que dans ces derniers, entre autres dans le rachitisme, le calcium ionisé dépasse le taux normal. Cependant, ce qui est vrai pour le sang ne l'est nécessairement pas pour les os ; il nous semble que l'on ne pourra admettre un tel processus de fixation calcique sur les protéines osseuses que le jour où l'on connaîtra la physico-chimie de l'osséine.

En somme, s'en tenant aux faits purement objectifs, on doit reconnaître que l'acidose est réelle au cours du rachitisme, mais que nous n'en connaissons ni l'origine, ni le rôle.

Conclusions

Il existe dans le rachitisme spontané et non traité du chien et du porcelet une acidose non gazeuse presque toujours compensée dont l'origine et le rôle sont indéterminés.

L'huile de foie de morue et les stérols irradiés produisent entre autres effets une normalisation de l'équilibre acide-base avec tendance à l'alcalose. Le *p*H paraît se relever dans des proportions plus fortes que la réserve alcaline.

La normalisation de l'équilibre acide-base obtenue par les stérols irradiés se maintient malgré les interruptions de traitement ; une fois acquise, elle paraît définitive.

La calcémie totale du sang complet ne présente pas de modifications notables ou caractéristiques au cours du rachitisme non traité : celui-ci n'est pas dû à une insuffisance de calcium.

Au cours du traitement par les stérols irradiés, on note une réduction de la calcémie initiale ; cette réduction est étroitement liée à l'administration des médicaments, car les interruptions de traitement ramènent la calcémie à son taux initial.

L'ionisation calcique suit les fluctuations de l'équilibre acide-base : exagérée avant tout traitement, elle se normalise définitivement en même temps que ce dernier.

LE CANCER ET LES GRANDS MÉCANISMES RÉGULATEURS DE LA DIVISION CELLULAIRE

par A. DUSTIN

Professeur à l'Université de Bruxelles

Lorsque mon ami le docteur Dujardin, le distingué Secrétaire de la Section Médicale du Congrès National des Sciences m'a demandé de faire une conférence à ces réunions, j'ai été naturellement très flatté, mais aussitôt embarrassé par le choix du sujet. Il faut autant que possible, m'avait dit Dujardin, choisir un thème qui permette d'évoquer l'évolution des idées au cours du dernier quart de siècle, dans le domaine scientifique qui vous est familier. Il y a vingt-cinq ans, je poursuivais mes premières recherches à l'Institut de Physiologie ; elles étaient à la fois physiologiques et morphologiques ; cytologiques et expérimentales. Je suis toujours resté fidèle à cette formule, qui supprimant les barrières entre les sciences de la forme et les sciences de la fonction, ouvrent des voies fécondes, dans lesquelles d'innombrables chercheurs se sont, depuis, engagés. Plus tard, j'ai pensé qu'il restait en pathologie, de vastes champs inexplorés et improductifs, et pour lesquels les méthodes de la morphologie expérimentale seraient les instruments les plus sûrs de défrichement et de fertilisation.

Lorsque l'on dit : cytologie, expérimentation, pathologie, on est naturellement amené à considérer la question vers laquelle convergent tous ces points de vues, je veux dire la question des tumeurs malignes. Ce qui m'a fait choisir le Cancer, comme objet de cette causerie, c'est d'abord, un peu la paresse qui m'a recommandé un sujet qui m'était familier, mais aussi, le fait qu'à côté de son intérêt d'actualité, le Cancer soulève des problèmes de biologie générale si importants et si variés, que mieux que tout autre sujet il nous permettra de vous faire saisir le long et patient effort des chercheurs progressant lentement, au milieu des ténèbres, allant de déceptions en déceptions, rencontrant des difficultés toujours nouvelles mais avançant... quand même.

Et disons immédiatement que l'énigme du Cancer reste entière. Si tout a été proposé, supposé ou même catégoriquement affirmé, un petit nombre de faits ont été réellement démontrés.

Les découvertes microbiologiques ont suscité une splendide et prodigieuse floraison de travaux dont beaucoup ont consacré de grandes découvertes ou des victoires définitives contre la maladie et la mort. Des mil-

liers de laboratoires, des dizaines de milliers de savants continuent, de par le monde, à parfaire la grande œuvre commencée par Pasteur.

Nos connaissances relatives à la biologie cellulaire, quoique élargies par l'œuvre d'un nombre beaucoup plus restreint de savants, ont, elles aussi, merveilleusement progressé.

Pourquoi le chapitre de pathologie qui traite des tumeurs malignes n'est-il pas depuis longtemps inondé de lumière par les vérités dues au génie des bactériologistes ou des cytologistes? C'est ce que, si vous le voulez bien, nous allons essayer d'examiner ensemble.

Vu la place limitée dont nous disposons pour ce compte rendu, nous nous bornerons à donner un résumé des points principaux examinés au cours de la conférence.

a) Celui qui essaye de s'initier à la connaissance des néoplasmes, s'arrête, effrayé devant le nombre énorme d'hypothèses et de théories explicatives de la pullulation maligne.

Les acquisitions préalables, nécessaires à la compréhension des néoplasmes sont de dates relativement récentes et dérivent de sciences encore jeunes :

Cytologie et embryologie ;
Anatomie pathologique et pathologie expérimentale ;
Bactériologie, parasitologie et sérologie ;
Biochimie et biophysique.

Dans ce cadre très vaste, tout a été imaginé, et lorsque la vérité apparaîtra, surgiront vraisemblablement beaucoup de chercheurs qui revendiqueront la priorité de l'idée, sinon de la démonstration de sa valeur.

Ceci dit, entrons dans le vif de la question.

1° *Ce qu'il y a d'essentiel dans la tumeur maligne*

Multiplication cellulaire anormale par sa *localisation*, son *intensité*, sa *continuité*.

Tout le restant n'est que consécutif : dédifférenciation ; perte des caractères tissulaires ; récidives ; métastases ; ulcération ; infection ; hypoglobulie ; cachexie.

2° *Recherche de la cause de la multiplication indéfinie*

a) Dans la cellule elle-même.

b) Dans les troubles des grands mécanismes cytorégulateurs.

c) Dans l'intrusion dans la cellule vivante d'un facteur X (ens malignitatis) vivant ou non.

a) *Origine du Cancer dans un trouble cellulaire.* — Nous ne suivrons pas l'ordre chronologique, mais grouperons les faits dans un ordre logique qui en permette facilement l'enchaînement et la compréhension.

A. — *Boveri.* — C'est par une altération du mécanisme intime de la cinèse, que se crée la cellule cancéreuse.

En 1902, étudiant des œufs d'oursin dispermiques, Boveri suggère

que les tumeurs malignes peuvent être dues à des altérations chromosomiales dérivant de mitoses pluripolaires.

Les conditions de normalité de la caryocinèse.

Les mitoses atypiques { par asymétrie. — chromosomes aberrants.
par pluripolarité —
ses causes { dispermie
absence de plasmodiérèse.

Conséquences. — La déficience d'un chromosome, ou d'un de ses constituants ne peut être réparée.

Des tendances ou propriétés fixées par hérédité peuvent ainsi être perdues : cohérence des épithéliums ; capacité cinétique, ou au contraire facteur inhibant la croissance, lorsque celle-ci a atteint son terme normal.

Tous les agents provocateurs de la cinèse, agissent par l'intermédiaire des chromosomes. On peut supposer qu'un complexe chromatinien anormal pousse perpétuellement à la division, si l'apport alimentaire est suffisant.

Dans cette manière de voir, les cancers naîtraient d'une seule cellule-souche.

Rôle du cytoplasme. — Un certain changement « dans le protoplasme ambiant, lèse certains chromosomes bien définis et pas les autres ; les futurs chercheurs expérimenteront sur un matériel favorable qui leur permettra d'influencer certains chromosomes seulement, par des substances chimiques ».

Boveri prévoyait aussi les poisons caryoclasiques que nous allions commencer à étudier quelques années plus tard.

Essence de la théorie de Boveri. — Ce n'est pas directement la mitose anormale, mais le complexe chromatinien anormal qui en résulte, qui conditionne la malignité.

Objections. — Les cinèses pluricentriques anormales : mégacaryocytes. Les cinèses cancéreuses fécondes sont les cinèses normales.

Les cinèses pluricentriques de l'irradiation des tissus normaux.

La théorie tend à expliquer le mécanisme, elle n'exclut aucune étiologie, ni physico-chimique, ni biologique.

B. — *Autres théories explicatives par troubles de la composition chromatienne.*

Les mitoses gamétoïdes (Farmer, Moore, Walker).

Les phénomènes de conjugaison { C + leucoc. (Klebs)
Endoth. + fibroblaste (Recklinghausen).
C + C : (Bashford).

La théorie embryonnaire de Cohnheim.

Les tératomes par développement parthénogénétique d'œufs ectopiques.

b) Origine du cancer dans un trouble des grands mécanismes cytorégulateurs. — Les premières divisions de l'œuf fécondé. Divisions synchroniques, puis asynchroniques ; puis perte progressive de la capacité divisionnelle ; sa localisation dans quelques zones germinatives. Antagonisme de la différenciation fonctionnelle et de la multiplication.

A l'état adulte la capacité divisionnelle se limite à la gamétogénèse, et aux phénomènes réparateurs.

La multiplication cellulaire en dehors de la gamétogénèse n'apparaît pas comme universellement indispensable : cellules nerveuses ; cellules musculaires. Là où on la voit se manifester normalement avec intensité, ce peut être pour d'autres raisons qu'une finalité réparatrice. Autant sont nombreuses les recherches sur la fécondation et les premiers stades de la division, autant sont rudimentaires nos connaissances sur les mécanismes régulateurs de la division chez l'adulte. C'est à ce problème que nous avons consacré, depuis une quinzaine d'années, les activités de notre laboratoire.

Conditions théoriques de la mise en action de la cinèse chez l'adulte.

1° Phénomène physico-chimique, humoral ;
2° Apport nucléo-plasmatique.
Ce dernier très variable.

Cet apport est-il toujours exogène, alimentaire.

Non : Vitellus ovulaire.

Destruction et résorption endogène ; pycnose, nécrose, nécrohormone des tissus normaux et néoplasiques ; mais reste toujours en corrélation étroite avec phénomènes alimentaires : vitamines — suc d'embryon.

Résumé très succinct de nos travaux :

1° Il existe des organes accumulateurs ou dispensateurs de nucléoprotéides : thymus ; organes lymphoïdes.

2° Des phénomènes de destruction de noyaux, ou d'excitation à la division peuvent être réalisés expérimentalement, (acridine, arsenic, agents physiques, radiations).

3° Les substances organiques étrangères, peuvent par injections répétées, amener un état de résistance : la cinéphylaxie.

4° Certaines substances sont des poisons électifs et sélectifs de la chromatine, pour certains noyaux, arrivés à certains stades de leur évolution. Ce sont les poisons caryoclasiques.

5° Ainsi apparaissent en action, des mécanismes limitateurs et régulateurs de la division cellulaire.

Chez le métazoaire adulte, le milieu humoral apparaît donc comme le grand intermédiaire de régulation divisionnelle.

Et ici commence un dédale d'une effroyable complication de facteurs extraordinairement hétérogènes.

Rôle des glandes endocrines : thyroïde, hypophyse, surrénales, parathyroïdes, intersticielles génitales ; glande hépatique.

L'influence de l'âge, de la grossesse, de l'allaitement sur l'évolution des tumeurs, en est l'expression.

D'où l'idée de déterminer les caractères du terrain cancérisable et du terrain cancérisé.

Détermination des ions H : *p*H Maud Menten 1917, Chambers, Kleinschmidt, Slosse et Reding, Sannié et Peyre, Jaumain, H. Quincy Wood.

Résultats contradictoires.

Point isoélectrique (Vlès) : pénètre plus avant dans les variations de structure des protides vivants.

Variation du métabolisme des glucides (Warburg).

Mais objections très sérieuses.

a) Cause ou effet ?

b) Le cancer n'est pas une variation d'activité cinétique de *toutes* les cellules de l'organisme.

c) Le traitement du cancer ne doit pas viser à influencer *toutes* les mitoses.

d) A une pullulation *électivement localisée* il faut apposer une *thérapeutique sélective.*

Et enfin, terminons cet exposé déjà long par l'énoncé de la dernière conception.

La cellule cancéreuse doit ses propriétés malignes à la pénétration dans son intimité d'une substance active, vivante ou non.

Innombrables parasites décrits. Notion des ultravirus et des formes filtrantes.

Nous nous bornerons à rappeler quelques expériences :

1° *Chez les Mammifères*, on n'a jamais pu inoculer de tumeur, autrement que par l'insertion de cellules cancéreuses *vivantes* et *intactes*, dans un organisme récepteur de *même espèce.*

S'il y a virus, il doit donc être en symbiose intime avec la cellule et peut-être avec son noyau.

2° *Chez les oiseaux* : le sarcome de Peyton-Rous est inoculable sans cellules. Certains auteurs nient sa nature sarcomateuse. D'autres nient la nature vivante du principe actif. (Carrel : cf. batériophages et principes lytiques de Bordet). Action de As, de l'indol.

Murphy : électrodialyse orchitique et obtention de substances actives. Critique de ces recherches.

3° Les cancers végétaux de Erwin Smith et les bactéries cancérigènes de Blumenthal.

Conclusion. — Je me suis efforcé d'extraire l'essence de milliers de faits, d'expériences et de théories disparates.

Où s'est donc réfugiée cette insaisissable vérité ?

Avouons d'abord en toute sincérité notre ignorance, et gardons-nous bien d'affirmer comme on l'a fait trop souvent, et parfois avec quelle dérisoire solennité, que le Cancer est ou n'est pas infectieux, est ou n'est pas contagieux, est ou n'est pas héréditaire.

La réponse à ces questions doit être le couronnement de l'œuvre au lieu de vouloir en constituer les prémisses.

Tout ce que l'on peut dire c'est qu'aucune théorie exclusive n'est capable d'expliquer raisonnablement toutes les formes de tumeurs chez les êtres vivants.

Si la raison d'être intime de la pullulation réside presque certainement dans les troubles du complexe chromatinien comme le veut Boveri, les raisons d'éclosions de la tumeur sont diverses et multiples.

Nous avons à maintes reprises exposé notre façon de voir à ce sujet et montré qu'il faut considérer comme facteurs oncogéniques : *des facteurs locaux* se résumant essentiellement dans une accélération du rythme cinétique sous des influences diverses (endocriniennes, irritatives, chimiques, inflammation, cicatricielles, etc.) ; *des facteurs généraux* surtout humoraux et constituant du terrain cancérisable ; enfin pour certaines tumeurs — et qui sait, peut-être demain, pour toutes — un agent exogène que nous appellerons momentanément *un virus*. Cette conception que nous avons appelée « tripode » a le grand avantage de laisser le champ libre à toutes les investigations ; elle couvre et explique toutes les modalités des néoplasmes ; elle ne ferme la porte à aucune possibilité d'avenir.

Si nous ne pouvons aujourd'hui vous apporter un bulletin de victoire, nous pouvons admirer un long et splendide effort.

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE COMPARATIVE DE DIVERSES VARIOLES ANIMALES

par J. LAHAYE,

Agrégé à l'Ecole de Médecine Vétérinaire de l'Etat.

L'on a beaucoup étudié comparativement les horse-pox, le cow-pox, la clavelée et la variole aviaire. Il en résulte que l'on admet aujourd'hui que si les virus qui provoquent ces maladies possèdent des affinités bien évidentes, il n'en reste pas moins certain que ces virus sont complètement différents.

Pour notre part, en 1927 [1], nous avons montré, par des expériences réalisées sur le pigeon, la poule, le lapin et la bête bovine que :

1° Le vaccin jennérien se cultive difficilement sur l'organisme du pigeon et ne procure, chez cette espèce, aucune immunité contre l'épithélioma contagieux ;

2° Que le vaccin jennérien trouve un terrain plus favorable chez la poule mais ne confère à cette espèce aucune immunité contre le virus variolique du pigeon ;

3° Que le virus épithéliomateux du pigeon est inoculable à la poule et, qu'après ce passage, il déclanche encore une variole typique chez le pigeon ;

4° Que le vaccin jennérien ne confère à la bête bovine aucune immunité contre le virus épithéliomateux du pigeon ;

5° Que le lapin constitue un mauvais terrain de culture du virus épithéliomateux du pigeon ;

6° Que, d'une façon générale, vaccin jennérien et virus épithéliomateux du pigeon constituent deux entités complètement différentes.

En 1928, par des expériences réalisées chez la poule et le pigeon, nous avons montré [2] que le virus qui provoque l'épithélioma contagieux chez la poule n'est pas le même que celui qui cause l'affection correspondante chez le pigeon et qu'il y a au moins un virus des Colombins et un virus des Gallinacés possédant, avec des affinités très grandes, des propriétés bien particulières.

---

[1] Etude comparative de la réceptivité de divers animaux au vaccin jennérien et au virus diphtéro-variolique du pigeon.
Immunité ; *Annales de Médecine vétérinaire*, août-septembre 1927.

[2] De la pluralité des virus diphtéro-varioliques des volailles.
Immunité ; *Annales de Médecine vétérinaire*, juillet 1928.

En 1929, nous avons eu l'occasion d'observer l'épithélioma contagieux chez le canari. Or, ce virus que nous appellerons virus des Passereaux ne s'est révélé identique ni à celui des Colombins, ni à celui des Gallinacés, ni à la vaccine. En sorte que, à l'heure actuelle, on pourrait admettre qu'en matière de variole aviaire, il existe au moins trois virus différents, à savoir : celui des Gallinacés que l'on rencontre chez la poule, la pintade et le dindon ; celui des Colombins que l'on observe chez le pigeon, mais qui possède, cependant, un pouvoir infectant pour les Gallinacés ; et celui des Passereaux qui paraît être exclusivement propre à cet ordre des oiseaux.

De plus, si l'un et l'autre de ces virus se différencient nettement l'un de l'autre par les propriétés que nous venons de leur reconnaître, ils se rapprochent par ce fait qu'ils possèdent les mêmes caractères comparativement à la vaccine.

Telles sont, en résumé, les propositions que nous allons démontrer.

A. — Virus variolique des gallinacés.

1° Il est propre à cet ordre d'oiseaux ;
2° Il n'est pas virulent pour les Colombins ;
3° Il n'est pas virulent pour les Passereaux.

1° *Ce virus est propre et virulent pour cet ordre d'oiseaux :*

Expérience 1 : Du virus provenant de poules ayant contracté la maladie naturelle est inoculé à une série de poules. Tous les sujets contractent l'épithelioma sous des formes de gravité variable.

Expérience 2 : Le même virus est inoculé à des pintades. Tous les sujets présentent des nodules épithéliomateux aux endroits de scarification.

Expérience 3 : Du virus variolique provenant de pintades malades est inoculé à des poules qui contractent la variole.

Expérience 4 : Du virus variolique prélevé sur des dindons est trouvé virulent pour la poule et la pintade.

Immunité.

Expérience 5 : Des pintades ayant servi à l'expérience 2 sont réinoculées avec du virus « poule ». Aucune réaction ne s'ensuit. Les autres sujets provenant de l'expérience 2 sont réinoculés avec du virus de pintade qui a servi à l'expérience 3 et ne réagissent en aucune façon.

Expérience 6 : Des poules de l'expérience 3 sont réinoculées, les unes avec du virus « poule » les autres avec du virus « pintade » sans que l'on puisse observer la moindre réaction.

2° *Ce virus des Gallinacés n'est pas virulent pour le pigeon :*

Expérience 7 : Du virus « poule » est inoculé à des pigeons. Résultat néant.

Expérience 8 : Du virus « pintade » inoculé à des pigeons ne donne aucune réaction.

3° *Ce virus des Gallinacés n'est pas virulent pour les Passereaux :*

Expérience 9 : Le virus « poule » provenant de l'expérience 1 est inoculé à des canaris et à des pinsons. Résultat : aucune réaction locale.

Expérience 10 : Le virus « pintade » issu de l'expérience 3 est inoculé à des pinsons et ne donne aucune réaction locale ni générale.

Conclusions.

a) Le virus de la poule, celui de la pintade et celui du dindon semblent être constitués par un seul et même germe.

b) Une première atteinte par l'une ou l'autre espèce microbienne confère à ces trois espèces aviaires une immunité contre ces trois virus.

c) Le virus des Gallinacés que nous avons utilisé n'est pas virulent pour les Colombins ni pour les Passereaux.

B. — Virus variolique des colombins.

1° *Ce virus est virulent pour cette espèce :*

Expérience 11 : Nous avons eu l'occasion d'inoculer du virus variolique « pigeon » à des centaines de colombins. Tous contractent régulièrement l'épithélioma par simple scarification lorsqu'ils ne sont sous l'effet d'aucune immunité vis-à-vis de cette affection.

2° *Ce virus est virulent pour les Gallinacés :*

Expérience 12 : Du virus provenant de l'expérience 11 est inoculé à des poules jeunes. Toutes contractent des nodules épithéliomateux aux endroits d'inoculation.
Expérience 13 : Inoculé à des pintades, le même virus donne les mêmes résultats.

Immunité.

Expérience 14 : Eprouvés un mois après, les pigeons de l'expérience 11 étaient immunisés contre le virus « pigeon ».
Expérience 15 : Eprouvées dans les mêmes conditions, des poules de l'expérience 12 sont immunisées contre le virus « pigeon ».
Expérience 16 : Eprouvées un mois après, des poules de l'expérience 12 sont trouvées immunisées contre le virus « poule ».
Expérience 17 : Eprouvées un mois après, des pintades de l'expérience 13 sont immunisées contre le virus « poule ».
Expérience 18 : Eprouvées dans la suite, des pintades de l'expérience 13 sont trouvées immunisées contre le virus « pintade ».
Expérience 19 : Eprouvées dans la suite, des poules de l'expérience 12 sont trouvées immunisées contre le virus « pintade ».

3° *Ce virus n'est pas virulent pour les Passereaux :*

Expérience 20 : Le virus provenant de l'expérience 11 a été inoculé sans résultat à des pinsons.

Conclusions.

a) Le virus des colombins est virulent pour cette espèce. Une atteinte confère une immunité.

b) Le virus des colombins est virulent pour les Gallinacés et leur confère une immunité aussi bien vis-à-vis de lui-même qu'à l'égard du virus « Gallinacés ».

c) Le virus des colombins n'est pas virulent pour les pinsons.

C. — Virus variolique des passereaux.

1° *Ce virus est virulent pour cet ordre d'oiseaux :*

Expérience 21 : Du virus provenant de canaris malades est inoculé à d'autres sujets et leur confère la maladie.

Expérience 22 : Le même virus se montre virulent pour des pinsons.

Expérience 23 : Du virus provenant de pinsons malades se montre virulent pour des canaris.

2° *Ce virus n'est pas virulent pour les Colombins ni pour les Gallinacés :*

Expérience 24 : Du virus « canari » provenant de l'expérience 21 est inoculé sans résultat à des pigeons et à des poules.

Expérience 25 : Des poules et des pigeons se montrent réfractaires au virus « pinson » provenant de l'expérience 23.

Immunité.

Expérience 26 : Des canaris provenant de l'expérience 21 sont réinoculés un mois après guérison avec du virus « canari », et ne montrent aucune réaction.

Expérience 27 : Des sujets provenant de la même expérience 21 réinoculés avec du virus « pinson », un mois après guérison, ne montrent aucun symptôme.

Expérience 28 : Des pinsons provenant de l'expérience 22 sont impunément inoculés avec du virus « canari ».

Expérience 29 : D'autres sujets provenant de l'expérience 22 se montrent immunisés contre le virus « pinson ».

Conclusions.

a) La variole des canaris et celle des pinsons paraissent être dues à un seul et même germe : *le virus variolique des Passereaux.*

b) Les Colombins et les Gallinacés se sont montrés réfractaires au virus des Passereaux.

D. — Ces trois virus varioliques sont différents de la vaccine.

1° *Virus des Colombins :* Nos expériences de 1927 ont montré que le virus variolique des pigeons n'était pas identique à celui de la vaccine.

Nous ne reviendrons plus sur ce point.

2° *Virus des Gallinacés :* Le virus variolique des Gallinacés ne cultive pas sur l'organisme des bovidés ou, tout au moins il ne nous a pas été possible de le mettre en évidence dans les lésions produites à la suite de l'inoculation épidermique.

D'ailleurs des bovidés ainsi traités sont encore réceptifs à la vaccine.

De même des poules inoculées avec de la vaccine contractent parfaitement la variole aviaire.

Enfin, le virus variolique des Gallinacés ne cultive pas sur l'organisme du lapin et après avoir été ainsi traité, ce dernier est encore réceptif à la vaccine.

3° *Virus des Passereaux :* Ce que nous venons de signaler au sujet du virus des Gallinacés s'applique en tous points au virus des Passereaux que nous avons eu l'occasion d'observer.

Conclusions.

Les expériences portant sur des inoculations ainsi que sur des épreuves d'immunité croisée tendent à prouver que les divers virus varioliques aviaires sont loin d'être identiques à la vaccine.

LA SUSCEPTIBILITÉ AU CANCER DU GOUDRON

(Étude expérimentale)

par le Dr J. MAISIN,

Directeur de l'Institut du Cancer à Louvain.

La clinique et le laboratoire sont deux méthodes d'égale valeur pour l'étude du cancer. Toutefois, certains domaines de la cancérologie s'étudient plus sûrement au laboratoire. C'est pourquoi l'étude du cancer du goudron est tellement instructive. C'est le seul cancer expérimental facile à provoquer et à observer. Il nous permet de suivre aisément l'éclosion et l'évolution du mal et d'étudier les modifications que peuvent y apporter une foule de facteurs que nous pouvons varier à notre gré.

Le but de cet article n'est pas de faire une étude complète de la question envisagée ni même une étude bibliographique du problème. Ce que nous voudrions, c'est rapporter ici très brièvement toute une suite d'expériences que nous avons réalisées avec nos élèves et qui tendent à élucider le rôle joué par le milieu organique (le facteur terrain, si l'on veut) dans l'étiologie du cancer du goudron. En effet, dans le cancer du goudron, comme dans tout cancer, il existe des facteurs déterminants locaux et une réceptivité générale de l'organisme vis-à-vis de ces facteurs déterminants locaux. Certains auteurs croient que ces facteurs locaux dits irritatifs sont d'ordre purement physico-chimique ; d'autres pensent qu'ils sont d'ordre infectieux, cette infection étant préparée par l'irritation locale. L'existence d'une réceptivité générale organique vis-à-vis du cancer, souvent mise en doute par les partisans acharnés de la théorie irritative, n'est plus guère contestée aujourd'hui. La chose désirable à l'heure actuelle c'est de déterminer l'importance de la réceptivité organique dans l'éclosion du cancer et si possible la nature de cette réceptivité.

Considérant le cancer du goudron en particulier, nous voudrions montrer où nous en sommes arrivés dans cette étude.

Démonstration de l'existence d'une prédisposition au cancer du goudron

Rappelons d'abord ici que le premier savant qui montra l'existence d'une prédisposition d'espèce, de race, d'individus et même de tissus vis-à-vis du cancer Spiroptérien, c'est Fibiger. Ses travaux magistraux sont des études classiques à méditer par tout cancérologue.

Dès 1922, Roussy lors de la première réunion de la « Leewenhoek Vereeniging » attira l'attention sur le fait que toutes les souris soumises à

un même genre de goudronnage ne font pas également bien du cancer, certaines souris même paraissant quasi réfractaires.

Par la suite Bang puis Leitch ont montré qu'un cancer du goudron peut naître chez une souris de nombreux mois après la cessation des badigeonnages, après la cessation de tout irritant « quasi spécifique » comme dit Teutschlaender. Le déclanchement final du processus cancéreux n'a donc rien à voir avec la présence du goudron lui-même. Le goudron est nécessaire comme irritant « quasi spécifique » pour préparer le terrain, mais le reste peut se passer sans lui ; on dirait qu'il a mis en branle un mécanisme dont le travail final est le cancer. Cela étant, nous nous sommes demandé jusqu'à quel point ce travail lent et fatal de cancérisation de la cellule, après disparition de l'irritant peut être influencé par l'état du métabolisme de l'individu. Dès 1923, nous avons montré (1) que le badigeonnage au goudron modifie les « humeurs organiques » de telle façon que cette altération concourt à l'éclosion du cancer. En effet, si l'on badigeonne la nuque d'une série d'animaux pendant un temps très court (deux mois par exemple), peu de sujets feront un cancer (20 % environ). Mais si on continue à badigeonner au niveau d'une autre région distante de la précédente pendant deux mois encore en sorte qu'il n'y ait pas de chevauchements des deux zones badigeonnées, on constate qu'un nombre beaucoup plus grand d'animaux (71 %) font du cancer au niveau de la première région. Nous avons ensuite montré avec Masse (2) qu'en injectant du goudron sous la peau du ventre d'un lot de souris pendant une période de trois à quatre mois, en évitant soigneusement de souiller la peau et en injectant suffisamment peu du produit pour ne pas tuer l'animal, on prépare l'organisme de ces animaux à faire un cancer de la peau loin de tout point d'injection. Ainsi, si on badigeonne les animaux injectés pendant deux mois seulement à la nuque, on crée chez eux un gros pourcentage de cancer (48 %) tandis que les animaux de contrôle badigeonnés pendant un même temps n'en font que 15 % et ceux badigeonnés pendant deux mois et demi même n'en font que 30 %. De plus quelques cas de cancers « spontanés » de la mamelle sont survenus chez nos animaux injectés qui n'avaient pas fait du cancer de la peau. Aucun cas semblable n'est survenu chez les contrôles de même race et de même âge observés pendant un même laps de temps. De plus les cancers de la peau naissent plus vite et sont plus malins (50 % métastases chez les injectées et 20 % chez les témoins).

Dans un même ordre d'idée, Mertens (3) constate que les papillomes et les cancers « histologiques » du lapin régressent si on cesse le badigeonnage de l'oreille malade mais que par contre ils continuent à se développer si on poursuit le badigeonnage au niveau de l'autre oreille.

Depuis lors, nos recherches et celles de Masse, ainsi que les constatations des auteurs déjà cités, ont été confirmées par Beek, Fischer-Wasel, Soboleva, Schwabad et Schov, Kreyberg et d'autres. Kreyberg (4) entre autres a pu provoquer des cancers avec métastases chez des animaux intoxiqués au goudron et dont la peau avait été simplement brûlée. Enfin,

C. Lynck (5) dans le laboratoire de Murphy a augmenté dans des proportions considérables le pourcentage de tumeurs spontanées du poumon chez une race de souris susceptibles dont la peau était badigeonnée en de multiples endroits pendant un temps très court de façon à éviter l'apparition de cancer de la peau.

Il paraît donc bien établi que l'altération des humeurs à la suite de l'intoxication chronique par le goudron concourt à l'élaboration du cancer en des endroits chroniquement irrités.

Rôle de certains métaux dans la prédisposition au cancer du goudron.

Nous ne saurions étudier ici le rôle de tous les métaux essayés dans le cancer. Nous ne parlerons que de quelques-uns d'entre eux particulièrement étudiés dans nos laboratoires.

Un de nos élèves, Estas (6) a étudié à notre demande l'action du cuivre. Il a constaté qu'à très faible dose on pouvait noter une action retardante sur l'éclosion du cancer du goudron et sur l'évolution. Comme le métal est rapidement toxique, des doses fortes auraient une action inverse.

A la suite d'affirmations retentissantes lancées de divers côtés nous avons dès 1924 chargé Estas d'étudier l'action du magnésium. Il a employé le sulfate de Magnésium en injection et pris comme animal d'expérience la souris, parce que c'est le seul animal qui fasse aisément un cancer du goudron à caractère régulièrement évolutif. Les détails de ces recherches sont consignés tout au long dans la thèse d'Estas. Nous en rappellerons ici simplement les conclusions : le magnésium donné à doses convenables sous forme de sulfate en injections sous-cutanées est capable de retarder légèrement l'apparition et l'évolution du cancer du goudron chez la souris. Pour obtenir un effet net il faut donner une dose de 1 centigramme par semaine et par animal.

Il est donc avéré que certains métaux introduits dans le métabolisme des individus intoxiqués sont capables de retarder l'éclosion et l'évolution du cancer du goudron.

Nous nous sommes demandé aussi si certains autres métaux n'auraient pas une action opposée. On sait que certains auteurs attribuent à l'arsenic un rôle néfaste dans l'évolution du cancer. Diverses expériences tentées par nous pour élucider ce rôle n'ont pas réussi de sorte que nous n'avons pas d'opinion personnelle sur cette question. Par contre, nous avons étudié l'action de diverses substances radioactives notamment l'action de l'ionium et plus récemment l'action d'un mélange thorium-uranium. Nous avons choisi ces corps de la série radioactive parce qu'ils ont une longue période de désintégration et par conséquent un rayonnement faible pratiquement stable et aussi parce qu'ils n'émettent que des rayons α. Nous n'avons ainsi à tenir compte que d'un seul type de radiation entièrement absorbée par les cellules où se loge le métal radioactif. De plus nous pouvons injecter des doses relativement considérables sans provoquer d'anémie grave par rayonnement. Quand ces métaux sont injectés par voie intraveineuse, ils se fixent

avant tout au niveau du système réticulo-endothélial. Etant donnée la grande énergie des particules α, on peut supposer qu'elles influencent le métabolisme de ce système. Soit dit en passant ces particules sont douées d'un énergique pouvoir de synthèse vis-à-vis des hydrocarbures (Mund) et elles sont capables de transformer l'ergostérol en Vitamine D antirachitique (Maisin, Pourbaix, Mund, Castille (7)).

Quoi qu'il en soit, les animaux (souris) ayant reçu de fortes doses d'ionium avant les badigeonnages et ceux qui en ont reçu de petites quantités tout au long des badigeonnages, font plus facilement du cancer que les animaux de contrôle non traités par l'ionium et leurs cancers sont plus malins (évolution plus rapide, pourcentage plus élevé de métastases). En effet, en totalisant tous les animaux injectés d'ionium et en les comparant à leurs contrôles nous obtenons les chiffres suivants :

Pourcentage absolu (1) *des cancers :*

Au 150e jour	40.6 % chez les injectées. 18.70 % chez les contrôles.
Au 210e jour	78.1 % chez les injectées. 56.0 % chez les contrôles.
A la fin de l'expérience	87.5 % chez les injectées. 72.4 % chez les contrôles.

Pour plus de détails nous renvoyons à la thèse d'Estas.

Cette action de l'ionium se manifeste non seulement chez la souris mais également chez le lapin. On sait depuis les travaux de Jamagiwa et Itchikawa et surtout depuis ceux de Leroux que le cancer de l'oreille du lapin est rarement progressif ; il rétrocède et disparaît le plus souvent après cessation des badigeonnages. Ce sont les cancers que nous avons appelés des « cancers histologiques » par opposition aux cancers progressifs et métastasants que nous avons appelés des « cancers physiologiques ». Un nombre important de lapins injectés d'ionium par voie endoveineuse (environ 30 %) font des « cancers physiologiques » progressifs alors que leurs contrôles badigeonnés pendant un temps triple ne font que des « cancers histologiques » régressifs

Etudiant avec Dupuis (8) les embryomes de la poule, nous avons vu que les seuls cas où une tumeur maligne s'est développée chez l'animal porteur d'un embryome sont ceux d'animaux injectés d'ionium. Ces tumeurs n'étaient pas des tumeurs filtrables type tumeurs de Rous. De plus, nous avons parfois obtenu chez les animaux injectés des embryomes énormes (10 × 7 × 5 cm.) alors que les animaux de contrôle n'ont jamais présenté que des embryomes de dimensions modestes ou mieux des survivances temporaires de tissus embryonnaires injectés.

Au cours de l'année 1929, Spies et Picard ont étudié dans notre institut l'action d'un mélange colloïdal Uranium-Thorium (mélange de Hocking)

(1) Nous appelons pourcentage absolu de cancer le pourcentage d'animaux faisant du cancer parmi tous ceux qui ont vécu après l'apparition du premier cancer dans la série d'animaux en expérience.

sur les tumeurs greffées de la souris et ils ont montré que ce mélange active la croissance de ces tumeurs.

L'action de certains métaux sur l'éclosion et l'évolution des tumeurs du goudron et d'autres tumeurs expérimentales semble donc être un fait bien établi : certains métaux ont une action inhibitrice, d'autres, tels que certains métaux radioactifs ont une action accélératrice. Le mécanisme de ces actions qui s'exercent évidemment par l'intermédiaire des humeurs organiques est difficile à comprendre, et ne saurait être élucidé que par des expériences nouvelles. Nous en reparlerons à la fin de ce travail.

Rôle de certaines fonctions physiologiques dans la prédisposition au cancer

Il est indispensable avant de parler de quelques-unes de ces fonctions en particulier d'envisager brièvement la question d'une façon générale.

En effet, on peut concevoir l'action de certaines fonctions physiologiques sur le cancer à deux points de vue différents. Certaines de ces fonctions pourraient avoir une action sur le déterminisme local d'une tumeur. Ainsi, par exemple, la gêne de la lactation peut provoquer un état congestif et inflammatoire chronique de la glande mammaire chez la souris et déterminer l'apparition d'un cancer du sein chez les animaux prédisposés (Bang). Au point de vue de l'interrelation qui existe entre certaines glandes à sécrétion interne, on doit se rappeler la communication intéressante de Goormachtig (9) montrant que les injections répétées de folliculine sont capables de produire à la longue des adénomes de la mamelle chez la souris. Par ailleurs, il semble impossible de nier l'action de la sécrétion ovarique sur l'éclosion des fibromes utérins. Et il est vraisemblable que d'autres faits semblables seront démontrés pour d'autres tumeurs dans l'avenir. Mais toujours ici il s'agit d'influence déterminant l'éclosion d'une tumeur en un endroit donné, chez un être prédisposé.

Se plaçant à un autre point de vue, on peut se demander si certaines fonctions organiques importantes telles que le métabolisme des graisses ou celui des nucléoprotéïdes ne seraient pas lésées chez les animaux prédisposés au cancer. En étudiant alors dans leur rapport avec le cancer certaines fonctions organiques définies exerçant une influence sur ces métabolismes on pourrait se faire une idée du bien-fondé de cette conception. Nous avons donc entrepris toute une série d'expériences pour étudier d'abord la fonction testiculaire des souris dans ses rapports avec le cancer, ensuite la fonction thymique et enfin le métabolisme des graisses.

a) Déjà en 1925, nous avons signalé avec Desmedt et Jacqmin (10) l'évolution particulièrement rapide du cancer du goudron chez un groupe de souris castrées pendant les badigeonnages. Ces animaux avaient présenté, en outre, un nombre considérable de métastases. Notre élève Jacqmin (11) a continué l'étude de cette question. Dans sa thèse parue récemment où on peut trouver tous les détails voulus, il confirme les données de ces premières observations. Cela, malgré certains travaux contradictoires publiés par d'autres auteurs sur la même question.

Un fait tout à fait certain établi au cours des travaux de Jacqmin dans notre Institut, c'est celui montrant que les souris castrées avant la puberté ne sont nullement réfractaires au cancer du goudron, alors qu'elles sont réfractaires à la greffe (Strong-Murphy). On peut même affirmer que ces souris sont plus susceptibles que des souris normales du même âge et de la même race badigeonnées en même temps. Elles font un plus grand pourcentage de cancer avec un pourcentage plus élevé de métastases pulmonaires.

Par contre, nous n'avons pu jusqu'ici établir avec certitude si cette influence de la castration est la conséquence de la suppression de la spermatogenèse ou celle de la suppression de la fonction endocrienne du testicule.

b) Depuis de nombreuses années, on a songé à attribuer au thymus un rôle dans la genèse et l'évolution du cancer. Fichera (12) fut un des premiers à étudier cette question. Récemment, Babes (13) étudiant l'action de l'intoxication au goudron sur le lapin a noté une destruction rapide et très marquée du thymus chez les animaux goudronnés. En Amérique, Hanson (14) a essayé l'action de certains extraits thymiques sur le cancer humain et il relate quatre cas où il semble avoir obtenu des résultats encourageants. Enfin Dustin au cours de ses études attribue un rôle important au thymus dans le métabolisme des nucléoprotéïdes.

Personnellement, nous avons fait étudier la question par une de nos élèves, Mlle François ; nous en reparlerons à propos de l'influence des régimes, mais nous tenons à signaler ici la curieuse constatation que nous avons faite. Parmi les souris badigeonnées et nourries au thymus qui sont réfractaires au cancer, on constate à l'autopsie de ces animaux la persistance, malgré leur âge de restes de thymus anormalement bien conservés. Ces observations conjointement aux résultats obtenus par d'autres chercheurs, méritent l'attention des cancérologues et réclament de nouvelles recherches dans ce domaine.

c) Nous n'avons pas eu personnellement l'occasion d'étudier l'action de la surrénale, des ovaires, de la thyroïde, de l'hypophyse ni de l'épiphyse sur le cancer expérimental mais on sait que des travaux déjà nombreux bien que peu concluants ont paru sur ces questions. Il faut toutefois faire une mention spéciale des travaux de Loeb montrant l'influence de la castration ovarienne précoce sur l'éclosion du cancer spontané de la mamelle chez la souris et les travaux récents de Arloing, de Sokoloff et de G. Goffy et de Humber sur l'influence des capsules surrénales.

Influence du régime sur le cancer du goudron.

Dès la parution des remarquables travaux de Minot et ses collaborateurs montrant l'influence du régime au foie sur l'hémopoièse dans l'anémie pernicieuse, nous avons songé à expérimenter l'action de divers régimes sur le cancer du goudron. En effet, puisqu'il est établi avec toute évidence que le terrain joue un certain rôle dans l'éclosion du cancer, on est en droit de songer au régime pour essayer de modifier ce terrain. La découverte de Minot et celle des diverses vitamines prouvent combien certains facteurs

alimentaires peuvent avoir une action sur des affections très diverses. On n'aurait jamais cru jadis que ces affections pouvaient être sous la dépendance d'une déficience dans l'alimentation.

a) *Influence du régime au foie sur le cancer du goudron.* — Dès 1927, nous avons publié avec Mlle François (15) des résultats concernant l'action du foie cru sur l'éclosion et l'évolution du cancer du goudron chez la souris. Nous avons montré alors que chez les animaux soumis à ce régime le cancer est plus précoce, plus fréquent et plus malin que chez les animaux de contrôle. Depuis, Mlle François a répété cette expérience plusieurs fois. Si on totalise le nombre des animaux qui ont vécu assez longtemps pour faire un cancer, on arrive au chiffre de 113 pour les animaux nourris au foie, et au chiffre de 132 pour les animaux de contrôle. Se basant sur ces chiffres importants, on peut affirmer que le régime au foie active réellement l'éclosion et l'évolution du cancer. Voici les principales données de ces expériences :

	Pourcentage absolu de cancers	
	Foie	Contrôles
120e jour	10 %	4 %
150e jour	46 %	17,5 %
180e jour	69 %	39 %
210e jour	76 %	59 %

Pourcentage de métastases pulmonaires
Foie = 49,3 %
contrôles : 29,3 %

Poussant plus avant ces recherches, nous sommes parvenus à montrer que les substances activantes résistent à la dessiccation et sont toujours contenues dans de la poudre de foie complètement dégraissée. Les graisses hépatiques sont par contre inactives et ont peut-être même une action inhibitrice. L'extrait hépatique des « Nordman Werk » de Hambourg assez actif dans l'anémie pernicieuse a une légère influence activante mais beaucoup moins marquée que le foie ou la poudre de foie. L'extrait hépatique n° 343 de Eli Lilly très actif contre l'anémie pernicieuse et préparé suivant les indications de Minot est dépourvu de toute influence activante sur l'éclosion du cancer et les animaux nourris avec cette substance sont même en retard par rapport à un groupe d'animaux de contrôle nourris avec du muscle de bœuf. Voici d'ailleurs les résultats de cette expérience :

		Cancers	Papillomes	Animaux indemnes
Au 180e jour :	Foie	10	4	0
	Muscles	5	8	1
	Extrait Lily	4	6	5

De toutes ces recherches, on peut donc affirmer que le foie renferme des substances activantes, que ces substances résistent à la dessiccation, qu'elles ne sont pas contenues dans les graisses hépatiques et qu'elles ne sont pas identifiables avec les substances anti-anémie pernicieuse.

b) *Influence de divers autres régimes sur le cancer du goudron.* — Mlle François a essayé divers autres régimes que le foie au cours de ses travaux.

Nous avons déjà dit que les graisses hépatiques semblent avoir une

action légèrement inhibitrice. Le régime à la cervelle (riche en lipoïdes également) montre une action dans le même sens mais nettement plus marquée. Ces déductions si elles se vérifient sont d'un intérêt extrême en cancérologie, c'est pourquoi nous procédons à l'heure actuelle à de nouvelles expériences de même ordre.

Les animaux nourris à un régime mixte de farine et de muscles, présentent une légère accélération comparativement aux animaux nourris à la farine seule ou à un régime mixte de farine et de graisses hépatiques.

Les animaux nourris avec de la pulpe de muqueuse intestinale n'ont présenté aucune évolution caractéristique. Il est vrai que le groupe étudié était peu nombreux.

Par contre, nous voudrions insister un peu plus longuement sur les animaux nourris au régime mixte farine-thymus (ris de veau) trois fois par semaine. Nous avons fait à l'aide de ce régime deux expériences chacune de 15 à 20 animaux ayant vécu après l'apparition du premier cancer. Elles ont été chaque fois contrôlées par un groupe d'animaux soumis au régime farine-foie et un groupe d'animaux soumis au régime farine-muscles. La première des expériences a donné chez les animaux nourris au thymus un retard considérable dans l'éclosion du cancer, la seconde expérience nous a donné un retard encore mais moins marqué. Si on réunit les chiffres des deux expériences et qu'on les compare aux chiffres des deux expériences au régime farine-muscles faites en même temps ou bien aux chiffres de toutes les expériences au foie réunies, on constate un notable retard dans l'éclosion des cancers des souris nourries au régime farine-thymus. Cela ressort d'ailleurs des chiffres suivants :

Pourcentage absolu de cancer :

	150e jour	180e jour	240e jour
Thymus	9 %	18 %	44 %
Muscle	19,75 %	35,5 %	51,5 %
Foie	46 %	69 %	81 %

Par contre, chose extrêmement curieuse à noter, les cancers de la série au thymus, une fois établis, se développent rapidement, deviennent très charnus et donnent un chiffre très important de métastases. L'action du thymus comme aliment semble donc être uniquement préventive et nullement curative.

Nous nous proposons de reprendre ces recherches au thymus sur un plus grand nombre d'animaux de façon à déterminer si les conclusions temporaires que nous venons de tirer peuvent être maintenues en toute certitude et nous autorisent à rechercher les substances à effet prophylactique contenues dans le thymus.

Nous avons déjà dit plus haut que les animaux au thymus avaient une santé remarquable et que la mortalité, à part la mortalité par cancer, était quasi nulle. Souvent même deux mois après la cessation des badigeonnages les animaux qui n'ont pas de tumeur présentent une repousse totale des poils au niveau de la tache attouchée et leur toison est tellement belle qu'on les prendrait pour des animaux neufs.

c) *Cancer du goudron et vitamine A.* — Etant données les recherches de Burrows, de Gasparri et d'autres sur l'action de la vitamine A sur le cancer cultivé *in vitro* et le cancer greffé, nous avons chargé Trigaux, un de nos élèves, d'étudier l'action de cette vitamine sur le cancer du goudron. Nous avons étudié l'action du produit ingéré et injecté. Le produit employé a été le produit Y de Lever Brothers ne renfermant pas de vitamine D. Chaque souris recevait une alimentation mixte muscles-farine et un dixième de capsule Y (vitamine A) par semaine en plus de son alimentation, soit par voie buccale soit par voie hypodermique. Comme animaux de contrôle, nous avons pris d'une part des animaux soumis au même régime sans addition de vitamine A et d'autre part des animaux soumis toujours au même régime mais injectés d'une petite quantité d'huile d'olive au lieu de produit Y.

Nos résultats actuels nous montrent que la vitamine A ingérée en supplément dans l'alimentation n'a aucune influence retardante sur l'éclosion du cancer ; au contraire, ce groupe est en avance sur ses contrôles. Il en est de même pour la vitamine injectée. Dans un travail spécial nous parlerons de l'essaimage métastatique chez ces animaux et des conditions qui chez eux semblent favoriser l'éclosion de la tumeur locale.

Discussion générale

Il y a de nombreuses années qu'il est démontré que des hormones ont une influence sur la croissance des tissus : les glandes mammaires, les poils de la barbe et du pubis se développent à la puberté. La thyroïde a une influence générale sur le métabolisme et conséquemment sur la croissance ; de même l'hypophyse a une influence évidente sur le développement des individus. Au cours de ces dernières années, on a démontré l'influence de la vitamine A sur la croissance.

Enfin, depuis la découverte de Minot, on connaît l'action de certaines substances contenues dans le foie sur l'hémopoïèse. Récemment, Castle semble bien avoir démontré que les substances en question sont des produits d'une digestion normale des albumines ou de certaines albumines ; ces produits s'emmagasineraient en particulièrement grande abondance dans le foie ; d'où l'action efficace du régime au foie dans les anémies pernicieuses.

Ces substances sont donc d'un ordre différent de celles de la vitamine A ou C par exemple, qui ne semble pas pouvoir se former régulièrement dans notre organisme. Elles ont une certaine analogie d'origine avec la vitamine D qui, elle aussi, peut se former dans notre organisme sous l'influence des rayons ultra-violets. C'est toutefois la première fois que l'on soupçonne que des produits normaux d'une digestion normale aient une influence comparable à une influence hormonale : action à distance sur une fonction bien déterminée.

La croissance de divers tissus est donc sous la dépendance de substances chimiques définies secrétées par certaines de nos glandes (hormones) ou ingérées (vitamines) ou encore provenant d'une fonction normale telle que la digestion (anémie pernicieuse).

Certaines tumeurs bénignes (goitre, fibrome, adénome du sein peut-être) ont des rapports avec des dysfonctions organiques diverses.

Est-ce que le cancer, tumeur maligne, maladie infectieuse ou non (en tant que tumeur locale), a un rapport quelconque avec une ou des fonctions organiques connues ?

Nous avons démontré au début de ce travail que l'intoxication générale de l'organisme par le goudron joue un rôle manifeste dans le déclanchement du processus carcinomateux. Poussant plus avant nos recherches, nous avons voulu savoir par quel mécanisme cette intoxication agit. Nous venons de voir que certaines substances alimentaires contenues dans le foie notamment, favorisent l'apparition du cancer du goudron, tandis que d'autres retardent cette apparition telles une alimentation riche en magnésium ou en certaines graisses ou même en certaines albumines (nucléoprotéides). D'autre part, certains sels de métaux radioactifs favorisent l'apparition des mêmes tumeurs du goudron. Ces métaux se logent dans divers organes, mais surtout au niveau du système réticulo-endothélial. On se demande si leur action n'est pas due à l'altération de certaines fonctions organiques car on retrouve peut-être moins de substance injectée au niveau des tumeurs qu'au niveau de la plupart des organes internes.

L'action du métabolisme sur l'éclosion du cancer du goudron est donc d'une part influençable par l'ingestion de certaines substances, d'autre part, par l'altération de certaines fonctions (métaux radioactifs, castration). On se demande dès lors si la prédisposition au cancer n'est pas conditionnée par la présence de certaines substances en plus ou moins grande abondance dans notre organisme. Substances activantes d'un côté ou empêchantes de l'autre. Ces substances peuvent être ingérées, résulter d'une sorte d'intoxication alimentaire ou bien provenir d'un métabolisme organique défectueux. Dans le premier cas, prédisposition ou résistance peuvent n'être que transitoires tandis que dans le second cas la prédisposition serait un phénomène irréversible permanent, résultant d'une mauvaise fonction organique. Ce serait dans ces cas de diathèse par vice organique que l'on verrait les cancers récidiver avec facilité et qu'on verrait un second cancer naître bientôt après la guérison d'un premier.

On peut tenter de serrer le problème de plus près en imaginant de nouvelles expériences d'ordre biologique du même ordre que celles qui ont fait le sujet de cet article, ou bien, essayer de résoudre la question en recherchant les modifications chimiques qui se produisent dans le sang au cours de la cancérisation. Il resterait alors encore à établir les relations de cause à effet entre ces modifications et le cancer.

Nous avons demandé à Mlle Pourbaix, chimiste, de notre institut, de bien vouloir étudier les variations du sérum sanguin des lapins injectés d'ionium et des lapins badigeonnés au goudron. Elle a étudié les variations de divers groupes de substances, mais elle a surtout concentré son attention sur les variations de la cholestérine, substance que l'on a souvent accusée de jouer un rôle dans l'évolution du Cancer. Elle est arrivée à la conclusion suivante : au cours de la cancérisation et pendant l'évolution du cancer, la

cholestérinémie est extrêmement instable suivant les périodes d'accroissement ou de régression du cancer du goudron chez le lapin. Il semble que l'animal en puissance de cancer, présente un trouble profond du métabolisme des graisses et est incapable de maintenir sa lipémie dans des limites normales. L'intoxication à l'ionium produit le même trouble à un degré moindre toutefois.

L'ensemble de ces données nous forcent d'admettre que l'intégrité des humeurs organiques joue un rôle important dans la cancérisation et nous incite à rechercher quels sont les métabolismes qui sont en défaut.

Conclusions

1. Le cancer du goudron est la résultante d'une irritation locale et d'une intoxication générale de l'organisme.

2. Certains sels employés à doses convenables sont capables de retarder (Mg Cu) l'apparition du cancer et de diminuer l'incidence cancéreuse.

3. D'autres sels, les sels de métaux radioactifs par exemple, exercent une action opposée.

4. Le régime alimentaire peut influencer l'éclosion du cancer.

5. Le régime au foie favorise l'évolution du cancer.

6. Il est probable que d'autres régimes à base de lipoïdes (cervelle) retardent son apparition.

7. La vitamine A ingérée en surcroît d'une alimentation normale sous forme de produit Y n'a aucune influence inhibitive sur l'apparition du cancer.

8. Au cours de la cancérisation par le goudron et de l'intoxication par l'ionium le métabolisme des graisses est lésé, cette lésion se traduit par une grande instabilité de la cholestérinémie.

BIBLIOGRAPHIE

(1) MAISIN, *Bull. de l'Ass. franç. p. l'ét. du Cancer*, Compt. rendus du Congrès de Strasbourg, 1923.

(2) MAISIN et MASSE, C. R. de la Soc. de Biol., X, C. II, 449, (1925).

(3) MERTENS, *Zeits. f. Krebsf.* XXI, 494, (1924).

(4) KREYBERG, *Brit. Journ. exp. path.*, VIII, 32 (1927).

(5) LYNCE, *Journ. of. exper. med.*

(6) ESTAS, «Rapport du métabolisme avec le cancer du goudron», *Rev. b. des S. Méd.*, **3**, (1929).

(7) MAISIN, POURBAIX, MUND et CASTILLE.

(8) MAISIN et DUPUIS, Embryomes et Cancer, *Rev. belg. des Sc. Méd.* **5**, (1929).

(9) GOORMACHTIG, Comptes rendus de la Soc. de biologie (1930).

(10) MAISIN, DESMEDT et JACQMIN, C. R. Soc. bel. de Biol. (1924).

(11) JACQMIN, *Rev. Belg. des Sc. Méd.*, nov., 1929.

(12) FICHERA, *Tumori*, (1911).

(13) BABES, *Bull. de l'Ass. fr. p. l'ét. du Cancer*, nov. 1929.

(14) HANSON, *The Journ.*, 94, **9**.

(15) MAISIN et Mlle FRANÇOIS, *Ann. de Médecine*, XXIV, **4**, 1928.

L'EFFET CURATIF DU CHOC ANAPHYLACTIQUE SUR LES MANIFESTATIONS SYPHILITIQUES [1]

par A. BESSEMANS, R. WILLEMS et Fr. DE POTTER

(Institut d'Hygiène et de Bactériologie de l'Université de Gand
et Laboratoire Vétérinaire de l'Etat à Cureghem.)

Au cours de nos recherches sur la syphilis expérimentale, il nous fut donné de faire une observation, qui nous parut inaccoutumée et que l'un de nous put incidemment rapporter dans une note publiée en collaboration avec Mlle De Geest à propos des propriétés immunologiques du *Treponema pallidum* Aristowsky-Hoeltzer [2]. Voici l'essentiel de cette observation :

Quatre Lapins, porteurs de syphilomes testiculaires récents et bilatéraux (souches Gand) [3], sont vaccinés par voies péritonéale et sanguine au moyen d'injections répétées de Tréponèmes pâles Aristowsky-Hoeltzer, entretenus par cultures *in vitro* [4] Les injections, espacées de huit à 15 jours, se font, soit uniquement avec des émulsions lavées de Tréponèmes tués par chauffage, soit d'abord avec de telles émulsions, puis avec des cultures entières et vivantes (sur ascite deux parties, bouillon ordinaire une partie). Le traitement se poursuit durant des semaines et des mois. Des anticorps apparaissent dans le sérum sanguin. Parfois le « Wassermann » devient positif ou sa positivité s'accentue. Mais *les animaux ne manifestent aucune réaction d'hypersensibilité et l'infection syphilitique évolue comme chez les Lapins témoins, non traités ;* en d'autres termes, aucun effet curatif ne s'observe.

Par contre trois Lapins, atteints de lésions semblables à celles des précédents, sont vaccinés durant plusieurs semaines au moyen des mêmes produits, injectés bilatéralement dans le scrotum et le testicule, c'est-à-dire autour des lésions. *Chez deux de ces sujets, il ne survient guère de réaction et les syphilomes évoluent comme si de rien n'était. Chez le troisième, où surgissent des phénomènes anaphylactiques locaux assez marqués, l'infection testiculaire subit une régression très nette, bientôt suivie de recrudescence passagère, puis de rapide guérison.*

(1) Les premiers résultats de ce travail ont été résumés ailleurs : A. Bessemans, R. Willems et Fr. De Potter, *Over Syphilis en Overgevoeligheidstoestanden (Vlaamsch Geneeskundig Tijdschrift*, 18, 345, 3 mai 1930).

(2) A. Bessemans et B. De Geest, *Contribution à l'étude du Treponema pallidum Aristowsky-Hoeltzer. Pouvoir pathogène et antigénique. Immunité (Comptes rendus de la Société de Biologie*, séance belge du 25 janvier 1930, **103**, 7, 522).

(3) A. Bessemans et N. Vlaeyen, *Sur l'isolement* in vivo *du Tréponème pâle et sur la séméiologie de la syphilis expérimentale du Lapin (Archives internationales de médecine expérimentale*, **4**, 471, février 1929).

(4) A. Bessemans et B. De Geest, *Contribution à l'étude du Treponema pallidum Aristowsky-Hoeltzer. Caractères culturaux et morphologiques (Comptes rendus de la Société de Biologie*, séance belge du 1er décembre 1928, **99**, 37, 1877).

Nous disions qu'un effet favorable analogue se constate si, au lieu de cultures entières et vivantes, on emploie de simples milieux de culture non ensemencés. Aussi ajoutions-nous qu'il faut considérer les améliorations survenues comme étant la conséquence d'un processus de nature purement anaphylactique. C'est qu'au surplus nous avions déjà connaissance de la plupart des observations relatées dans le présent travail, qui a pour objet : *l'influence subie par la syphilis expérimentale du Lapin (et accessoirement aussi par la syphilis humaine) sous l'action des phénomènes de choc qui surviennent dans les états d'hypersensibilité en général, dans l'anaphylaxie générale et locale en particulier.*

Tous les Lapins, dont il s'agit dans les pages qui suivent, étaient porteurs, au moment où leur traitement de choc commençait, de syphilomes testiculaires primaires, récents et bien développés, artificiellement produits par greffe de l'une ou l'autre des quatre souches isolées à Gand [5]. L'évolution naturelle de tels syphilomes est toujours très lente. A l'heure actuelle, leur incubation est d'environ six semaines, la lésion met environ deux mois (à partir de son apparition) pour atteindre son acmé, la guérison spontanée ne s'achève ensuite qu'au bout d'environ deux à trois nouveaux mois.

A. — Réactions générales d'hypersensibilité

Nous avons tâché de les réaliser de deux façons distinctes :

injections intramusculaires ou intraveineuses, peu espacées et fréquemment répétées, de différents protides ;

injection préparante d'un protide variable, suivie à longue échéance d'une injection déchaînante du même produit.

Les substances utilisées ont été : du sérum de lait, du lait écrémé, de la peptone, du sérum de Cheval (chauffé ou non à 56° pendant une heure).

a) *Injections peu espacées et fréquemment répétées :*

Première série d'expériences :

Deux Lapins reçoivent quotidiennement dans les muscles de la région lombaire, durant une période de trente jours, 0.5 cm³ de sérum de lait [6] par kg. d'animal. Les sujets ne semblent nullement incommodés. Leur température reste normale. Les lésions syphilitiques évoluent comme chez les animaux témoins, non traités.

Deuxième série d'expériences :

Cinq Lapins (de 1 kg. 500 à 2 kg.) sont injectés dans la veine de l'oreille, une fois tous les un ou deux jours, durant deux à trois semaines, de 2 cm³ de peptone Witte à 10 %. Aucun phénomène réactionnel ne se manifeste. Les lésions syphilitiques ne paraissent pas influencées.

(5) Voir le travail signalé à la note (3).

(6) Sérum de lait préparé par la division Meurice de l'Union Chimique de Belgique. Composition, d'après nos analyses : extrait sec 6,05 gr. %, cendres 0,67 gr. %, graisses 0,51 gr. %, lactose 4,75 gr. %, caséine 0,12 %.

b) *Injection préparante suivie d'une injection déchaînante à longue échéance (anaphylaxie générale)*

Huit Lapins reçoivent d'abord, sous la peau du dos ou des lombes, une injection sensibilisante de 0.1, de 0.5 ou de 1 cm^3 de lait écrémé ou de sérum de Cheval inactivé par chauffage ; puis, après un repos de 69, 78, 91, 98, 105 ou 150 jours, 1, 1.5, 3, 15 ou 20 cm^3 des mêmes produits que la première fois, dans le péritoine ou dans le sang ([7]).

L'injection déchaînante ne produit aucune réaction chez 5 animaux, une faible réaction chez un sixième (accélération respiratoire légère), une réaction d'intensité moyenne chez un septième (accélération respiratoire nette et agitation manifeste), une forte réaction chez un huitième (respiration très accélérée, agitation inquiétante, convulsions graves). Tous ces phénomènes de choc ne durent que quelques minutes et tous les animaux s'en remettent parfaitement. Les lésions syphilitiques ne semblent pas influencées.

En somme, nous pensons pouvoir déduire de ces observations que, *chez le Lapin, deux ou plusieurs injections de protides, faites loin des lésions syphilitiques, ne parviennent pas à visiblement agir de façon curative sur ces dernières*, que les injections déclanchent ou non une réaction d'hypersensibilité ou un véritable choc anaphylactique général.

B. — Anaphylaxie locale (phénomène d'Arthus)

Un choc local fut obtenu par plusieurs injections, espacées de 6 à 15 jours, de 5 cm^3 de sérum de Cheval (chauffé ou non) ou de mélanges de bouillon et d'ascite stériles, dans le scrotum, le mieux possible tout autour du syphilome. Certains animaux n'avaient reçu aucune injection sensibilisante préalable. D'autres avaient été injectés, des semaines ou des mois auparavant, sous la peau en un endroit éloigné du sac scrotal ou dans la veine, une ou plusieurs fois, soit de 0.1 à 1 cm^3 de sérum de Cheval (chauffé ou non), soit de petites quantités de protides divers.

De cette façon, des améliorations et des guérisons remarquables furent bien souvent constatées. Voici quelques exemples typiques, se rapportant à différentes modalités opératoires :

a) *Sensibilisation préalable suivie, à longue échéance, de plusieurs injections intrascrotales (phénomène d'Arthus mixte) :*

Lapin 805/C23 :

29 août 1929 : injection de *1 cm³ de sérum de Cheval non chauffé* sous la peau du dos.

21 octobre 1929 : greffe syphilitique dans les deux testicules.

10 décembre 1929 : présence d'un nodule syphilitique, gros comme une fève dans chaque testicule, nombreux Tréponèmes mobiles de part et d'autre.

([7]) Nous avons suivi cette technique rigoureuse, quoique l'anaphylaxie ne soit pas strictement spécifique chez le Lapin, à l'effet de réaliser les meilleures conditions de réussite éventuelle.

12 décembre 1929 : injection intrascrotale (répartition autour des deux nodules) de *5 cm³ de sérum de Cheval non chauffé.*

19 décembre 1929 : les nodules sont stationnaires ; injection de *5 cm³ de sérum,* comme il y a huit jours.

Durant les jours qui suivent, *réaction locale assez intense.*

24 décembre 1929 : petite escarre superficielle du scrotum droit, *ramollissement considérable des deux nodules, tous les Tréponèmes trouvés sont immobiles.*

12 janvier 1930 : persistance de l'escarre à droite, présence d'une petite escarre débutante à gauche, *absence de toute induration et absence de Tréponèmes.*

La guérison des lésions syphilitiques persiste, définitive.

Lapin 806/F41 :

29 août 1929 : *1 cm³ de sérum de Cheval non chauffé* sous la peau du dos.

21 octobre 1929 : greffe syphilitique intratesticulaire bilatérale.

10 décembre 1929 : petits nodules syphilitiques à droite, gros nodules syphilitiques à gauche, présence de part et d'autre de nombreux Tréponèmes mobiles.

12 décembre 1929 : injection intrascrotale, *à gauche seulement, de 5 cm³ de sérum de Cheval non chauffé.*

Durant les jours qui suivent, léger *oedème réactionnel à gauche.*

19 mars 1929 : la résorption sérique n'est pas encore complète, *les nodules droits ont progressé, les gauches sont stationnaires.* Nouvelle injection, *à gauche seulement, de 5 cm³ de sérum de Cheval non chauffé.*

Phénomènes réactionnels marqués, à gauche.

24 décembre 1929 : *oedème assez dur à gauche, mais absence de nodules et de Tréponèmes ; présence de nodules bien développés et de Tréponèmes mobiles à droite.*

12 janvier 1930 : petite escarre à gauche, mais *guérison parfaite du testicule ;* diminution des nodules à droite, avec présence de Tréponèmes mobiles.

Lapin 807/F42 :

29 août 1929 : *1 cm³ de sérum de Cheval non chauffé* sous la peau dorsale.

21 octobre 1929 : greffe syphilitique dans les deux testicules.

10 décembre 1929 : petits nodules syphilitiques dans le testicule droit, nodules assez grands dans le gauche, présence de Tréponèmes mobiles de chaque côté.

12 décembre 1929 : *5 cm³ de sérum de Cheval non chauffé, à gauche seulement,* tout autour des nodules.

19 décembre 1929 : à droite et à gauche, les syphilomes ont progressé et les nodules se sont fusionnés. Nouvelle injection, *à gauche, de 5 cm³ de sérum.*

21 décembre 1929 : *oedème dur et rouge du scrotum gauche, enveloppant toute la lésion.*

24 décembre 1929 : petite escarre du scrotum gauche, *diminution nette du syphilome sous-jacent et absence de Tréponèmes ; progression de la lésion droite, avec présence de Tréponèmes mobiles.*

12 janvier 1930 : diminution de l'escarre gauche, *disparition totale du syphilome sousjacent ; progression du syphilome droit.*

25 janvier 1930 : *guérison complète du testicule et du scrotum gauches ; ulcération et état stationnaire du syphilome droit avec présence de nombreux Tréponèmes mobiles.*

b) *Injections répétées de protides, à peu de jours d'intervalle, aux abords immédiats des lésions, sans sensibilisation préalable (phénomène d'Arthus pur) :*

Lapin 3/EV :

22 décembre 1927 : greffe intratesticulaire bilatérale.

29 février 1928 : grosses lésions bilatérales, avec présence de Tréponèmes mobiles ,

castration à gauche, injection de *5 cm³ de sérum de Cheval chauffé* dans le sac scrotal droit, température rectale maximum 38°,8.

6 mars 1928 : *5 cm³ de sérum chauffé* dans le scrotum droit.

Durant les jours qui suivent, aucun phénomène réactionnel, température rectale maximum 38°7.

15 mars 1928 : le syphilome droit a légèrement augmenté ; *5 cm³ de sérum chauffé sont injectés tout autour de la lésion.*

16 mars 1928 : *réaction locale nette* (infiltration rouge), température rectale maximum 39°,4.

17 au 19 mars 1928 : la réaction diminue, température rectale maximum 38°,9.

24 mars 1928 : réaction terminée, *syphilome nettement diminué de volume*, présence de Tréponèmes mobiles. Injection de *5 cm³ de sérum chauffé tout autour de la lésion.*

25 mars 1928 : *forte réaction locale* (oedème dur et rouge), température rectale maximum 40°,1.

26 au 30 mars 1928 : la réaction diminue ; température rectale maximum 39°,4.

31 mars 1928 : la résorption sérique est totale, une petite escarre est présente, *le testicule paraît normal et ne révèle plus la présence de Tréponèmes.*

La guérison locale persiste, définitive.

Lapin 12/EV :

13 août 1928 : greffe intratesticulaire bilatérale.

24 septembre 1928 : présence d'un gros syphilome (noix de galle) à droite et à gauche, avec nombreux Tréponèmes mobiles de chaque côté. Injection de *5 cm³ de sérum de Cheval chauffé, répartis autour des deux testicules.* Température rectale maximum 39°.

25 et 26 septembre 1928 : température rectale maximum 39°,1.

9 octobre 1928 : syphilomes stationnaires, température rectale maximum 39° Injection de *5 cm³ de sérum chauffé, autour des lésions*, comme le 24 septembre.

10 octobre 1928 : *oedème local net*, température rectale maximum 39°,2.

12 octobre 1928 : *oedème dur bilatéral*, température rectale maximum 39°,3.

13 octobre 1928 : disparition de toute réaction, *diminution des syphilomes.*

19 octobre 1928 : régression plus forte encore des syphilomes, mais présence de Tréponèmes mobiles de chaque côté. Injection, comme plus haut, de *5 cm³ de sérum chauffé.*

20 octobre 1928 : *oedème rouge et dur*, abattement de l'animal, température rectale maximum 39°,4.

21 au 23 octobre 1928 : disparition de tout phénomène réactionnel, *absence de Tréponèmes dans le nodule gauche, le syphilome droit diminue toujours mais révèle encore la présence de Tréponèmes mobiles.*

30 octobre 1928 : la guérison s'accentue à gauche, le syphilome droit paraît rester stationnaire. Injection, comme plus haut, de *5 cm³ de sérum chauffé.*

31 octobre 1928 : *réaction locale intense* (gros oedème dur), phénomènes fébriles généraux, température rectale maximum 40°,5.

1 au 3 novembre 1928 : diminution progressive des phénomènes réactionnels.

5 novembre 1928 : petite escarre à gauche, *les deux testicules semblent redevenus normaux.*

10 novembre 1928 : *guérison complète de chaque côté, avec absence de Tréponèmes.*

La guérison locale persiste, définitive, tandis que des animaux contrôles, non traités (mais également greffés le 13 août 1928 et porteurs, au bout de 5 à 6 semaines, de lésions nettes), *continuent de présenter encore, durant des semaines, des syphilomes évolutifs, riches et Tréponèmes mobiles.*

Lapin 894/F21 :

15 décembre 1929 : greffe intratesticulaire bilatérale.

29 janvier 1930 : présence de syphilomes bilatéraux, de la grosseur d'une noix de

galle, riches en Tréponèmes mobiles. Castration à droite, injection de *5 cm³ de milieu de culture pour Tréponèmes* Aristowsky-Hoeltzer (ascite-bouillon au tiers) dans le sac scrotal gauche, tout autour de la lésion.

4 février 1930 : le syphilome a grossi. Nouvelle injection de *5 cm³ de milieu de culture*, comme six jours auparavant.

Durant deux jours, le scrotum présente *un peu de rougeur et d'oedème mou.*

11 février 1930 : le syphilome a encore progressé et s'ulcère. Nouvelle injection, comme plus haut, de *5 cm³ de milieu de culture.*

Durant trois jours, *hyperhémie et gonflement réactionnels plus intenses.*

17 février 1930 : il n'y a plus de réaction locale, *la lésion est stationnaire.* Nouvelle injection de *5 cm³ de milieu de culture.*

21 février 1930 : les phénomènes anaphylactiques locaux n'ont pas entièrement disparu, *le syphilome régresse et se ramollit, l'ulcération se cicatrice.*

24 février 1930 : la résorption du produit injecté est totale, le *syphilome n'a plus que la grosseur d'une noisette* mais renferme toujours des Tréponèmes mobiles, l'ulcère est couvert d'une escarre sèche. Nouvelle injection de *5 cm³ de milieu de culture.*

Durant trois à quatre jours, *oedème rouge d'une dureté moyenne.*

25 février 1930, le soir : la température intratesticulaire, prise au « Tiefenthermometer » de Zondek [8], l'animal bien couvert sur une planche matelassée, n'atteint que 35°,7 ; au bout de dix minutes, les cuisses maintenues rapprochées, elle ne dépasse pas 37°.

26 et 27 février 1930 : la température buccale ne dépasse pas 38°,5, la rectale ne dépasse pas 39°, la température intratesticulaire (prise à l'aiguille thermo-électrique, les cuisses rapprochées) atteint un maximum de 36°,9.

28 février 1930 : la réaction locale persiste, assez faible ; *le syphilome s'est encore notablement ramolli et n'a plus que la grandeur d'un petit pois, il ne montre plus que quelques rares Tréponèmes mobiles.*

4 mars 1930 : *le nodule syphilitique grossit légèrement.* Nouvelle injection de *5 cm³ de milieu de culture.*

Durant quatre jours, *oedème rouge et dur, assez intense.*

5 mars 1930 : apparition d'une *kératite bilatérale, métastatique, spécifique* (présence de Tréponèmes démontrée ultérieurement). Température rectale maximum 38°,7, buccale maximum 38°,3. Température intratesticulaire maximum, prise le soir au moyen de l'aiguille thermo-électrique, les cuisses rapprochées : 35°,2.

10 mars 1930 : toute réaction locale n'a pas disparu, le nodule syphilitique ne régresse pas et renferme encore de rares Tréponèmes mobiles. Nouvelle injection de *5 cm³ de milieu de culture.*

Durant quatre à cinq jours, *phénomènes anaphylactiques locaux* de moyenne intensité, pas de fièvre.

19 mars 1930 : *le nodule syphilitique a fortement diminué et ne montre plus que de très rares Tréponèmes immobiles.*

21 mars 1930 : *absence de nodule et de Tréponèmes.*

La guérison locale persiste indéfiniment.

Ces cas et une série d'autres pareils *nous permettent de conclure* que, *chez le Lapin, un choc anaphylactique local* c'est-à-dire *un phénomène* d'Arthus *plus ou moins prononcé peut améliorer et complètement guérir certains syphilomes testiculaires bien développés, beaucoup plus rapidement que l'évolution naturelle.*

Nous ne sommes pas plus affirmatifs, parce que de nombreux essais nous ont appris que des fois il ne survient qu'une amélioration passagère,

[8] A. Bessemans, Fr. De Potter et R. Hacquaert, *Méthode clinique pour la mensuration de la température intratissulaire* (*Revue belge des Sciences médicales*, **1**, 6, 496, juin 1929).

de même qu'il arrive qu'une réaction locale pourtant absolument nette ne semble guère exercer d'influence favorable.

Il est malaisé de découvrir chaque fois la cause de l'insuccès. Pourtant il nous a paru, d'une façon générale, que *l'on réussit le mieux lorsque l'on utilise des produits riches en protides* (9), *lorsque l'animal a été préalablement sensibilisé* (10) *et surtout lorsque les injections destinées à provoquer le choc local englobent de toutes parts la lésion que l'on tâche de guérir.*

De plus, notre attention une fois attirée sur ces points, nous avons observé que si, au cours du traitement, l'on interrompt les injections, soit notamment parce que l'on estime la réaction suffisante, soit parce que la lésion finit par s'ulcérer ou par tellement adhérer à la peau qu'il n'est vraiment plus possible de bien l'entourer par le produit injecté, *il se produit bien souvent que la tumeur syphilitique prend un développement extraordinairement grand et rapide, de même qu'elle diminue et guérit ensuite, abandonnée à elle-même, avec une rapidité non moins exceptionnelle.*

Le fait survient aussi bien chez les animaux préalablement sensibilisés que chez les autres. On peut déjà le trouver ébauché dans certaines observations relatées plus haut (11). Mais voici quelques exemples bien plus démonstratifs :

Lapin 13/EV :

13 août 1928 : greffe intratesticulaire bilatérale.

28 septembre 1928 : gros nodule syphilitique bilatéral, nombreux Tréponèmes mobiles de chaque côté. Injection intrascrotale de *5 cm³ de sérum de Cheval chauffé, répartition sur les deux sacs.* Température rectale maximum 39°,1.

9 octobre 1928 : les lésions ont progressé. Nouvelle injection de *5 cm³ de sérum chauffé*, comme le 28 septembre. Température rectale maximum 39°.

16 octobre 1928 : les lésions se sont développées, début d'ulcération à droite Injection de *5 cm³ de sérum*, comme plus haut. Température rectale maximum 39°,7.

25 octobre 1928 : *syphilome stationnaire à gauche*, progression de l'ulcère mais diminution du nodule à droite. Injection de *5 cm³ de sérum*, comme plus haut.

26 au 31 octobre 1928 : *forte réaction locale bilatérale*, température rectale maximum 39°9.

3 novembre 1928 : les phénomènes réactionnels ont disparu, l'ulcère droit est stationnaire mais *les syphilomes droit et gauche ont considérablement rétrocédé, il ne persiste plus que quelques rares Tréponèmes mobiles de chaque côté.*

L'on s'attend à la guérison prochaine des lésions et *les injections sont arrêtées.*

10 novembre 1928 : recrudescence des syphilomes, bilatéralement.

2 décembre 1928 : *les syphilomes, fortement indurés, atteignent à droite et à gauche les dimensions d'une énorme noix de galle, l'un et l'autre montrent une vaste ulcération, présence de très nombreux Tréponèmes mobiles.*

(9) L'on a pu remarquer notamment, par les observations exposées, que le sérum de Cheval est plus efficace que l'ascite-bouillon au tiers (comparer le cas du Lapin 894/F21 à ceux des Lapins 3/EV et 12/EV). L'on verra plus loin que de même le sérum de lait se montre inférieur au sérum de Cheval.

(10) Comparer les cas des Lapins 805/C23, 806/F41 et 807/F42 aux autres.

(11) Notamment dans le seul cas favorablement influencé parmi les trois Lapins vaccinés dans le scrotum et le testicule au moyen d'émulsions et de cultures de Tréponèmes Aristowsky-Hoeltzer, de même que dans le cas du Lapin 894/F21 (recrudescence du 4 mars 1930).

2 janvier 1929 : *les deux testicules et les deux scrotums ont repris leur aspect normal.*

La guérison locale persiste, définitive.

Lapin 6/EV :

29 février 1928 : greffe intratesticulaire bilatérale.

12 avril 1928 : lésions bilatérales, grosses comme des noisettes, riches en Tréponèmes mobiles. Injection intrascrotale de *5 cm³ de sérum de Cheval chauffé, bien autour des deux syphilomes.* Température rectale maximum 39°,2.

25 avril 1928 : nouvelle injection de *5 cm³ de sérum*, comme le 12 avril.

26 et 27 avril 1928 : *infiltration oedémateuse* des lésions, température rectale maximum 39°,4.

9 mai 1928 : *les syphilomes ne progressent plus.* Injection de *5 cm³ de sérum*, comme plus haut.

10 au 12 mai 1928 : *réaction locale assez marquée*, température rectale maximum 39°,4.

13 mai 1928 : la résorption sérique est totale, les lésions restent stationnaires, présence de nombreux Tréponèmes mobiles de chaque côté.

18 mai 1928 : aucun changement. Injection de *5 cm³ de sérum*, comme plus haut.

Les jours suivants, *forte réaction locale*, une température rectale de 40°,2 persiste pendant vingt-quatre heures.

26 mai 1928 : les phénomènes réactionnels ont disparu, température rectale maximum 38°,9.

7 juin 1928 : *les lésions ont nettement rétrocédé* mais montrent encore de nombreux Tréponèmes mobiles. Nouvelle injection de *5 cm³ de sérum*, comme plus haut.

Les jours suivants, *forte réaction locale*, abattement de l'animal, la température rectale oscille durant deux jours entre 39°,9 et 40°,4.

18 juin 1928 : la résorption sérique est totale, toute réaction a disparu, les *syphilomes n'ont plus que la grosseur d'un tout petit pois et ne montrent plus que de rares Tréponèmes mobiles.*

L'on escompte la guérison prochaine et *les injections sont arrêtées.*

25 juin 1928 : *forte recrudescence, les syphilomes ont la grosseur d'une noisette.*

En quinze jours, les dimensions des syphilomes atteignent celles d'une grosse noix de galle, ils s'ulcèrent largement.

10 juillet 1928 : mort accidentelle de l'animal.

Lapins 548/B123, 549/B115 et 698/C27 :

Du 15 avril 1929 au 20 janvier 1930: injections intraveineuses, tous les quinze jours environ, *de doses croissantes (1 à 5 cm³) de cultures lavées ou non de Tréponèmes* Aristowsky-Hoeltzer (non pathogènes).

Vers la mi-janvier 1930 : greffe intratesticulaire bilatérale.

10 février 1930 : présence, chez les trois animaux, de syphilomes bilatéraux gros comme des noisettes et riches en Tréponèmes mobiles.

Du 19 février au 16 mars 1930 : *quatre injections de sérum de Cheval non chauffé*, chaque fois 5 cm³ par animal, répartition sur les deux sacs. Seulement, à partir de la troisième injection, les syphilomes adhèrent par endroits à la peau et il devient impossible de bien les englober dans la masse injectée.

C'est pour ce motif que *les injections sont arrêtées.*

4 avril 1930 : chez les trois animaux, à gauche et à droite, *les syphilomes sont devenus énormes, atteignant 5 sur 7 cm.* (soit le double environ des plus gros syphilomes habituels), tous sont largement ulcérés ([12]).

Le 7 mai 1930 pour l'un des animaux et le 4 juin 1930 pour les deux autres : *la*

([12]) Ce sont les plus gros syphilomes testiculaires que nous ayions obtenus jusqu'à présent avec nos souches chez le Lapin.

guérison scrotale et testiculaire est complète, de chaque côté, alors que les animaux porteurs de lésions semblables mais de moitié moins grosses mettent près de trois mois pour guérir.

C. — Essais complémentaires au moyen de sérum de lait urénilé

Certains auteurs estiment avoir amélioré leurs succès protéinothérapiques en associant un produit chimiothérapique aux protides injectés et Gérard (13) a récemment publié quelques cas intéressants, qu'il a traités suivant ce principe au moyen de « lacrénile » (14), constitué de sérum de lait (15) et de 20 à 40 % d'urénile ou urotropine injectable. Nous avions d'ailleurs cru observer nous-mêmes (16) que le sérum de lait urénilé permet de combattre avantageusement des septicémies de bacilles pyocyaniques ou de bacilles de Danysz chez la Souris, mieux que du sérum de lait ou de l'urénile seuls à des doses équivalentes. C'est ainsi que l'idée nous est venue d'instituer quelques essais du même ordre chez des Lapins syphilitiques.

Nous avons opéré comme suit. Douze Lapins sont choisis, porteurs de syphilomes bien développés et intercomparables, et dont la moitié a été au préalable diversement sensibilisée. Chacune des moitiés est alors divisée en deux sous-groupes, de trois animaux chacun. Puis on traite au moyen d'injections répétées de sérum de lait (0.5 cm³ par kg. d'animal), dilué au besoin : d'abord un animal des sous-groupes 1 et 3, tous les huit jours environ, durant des semaines, bien autour des lésions dans les sacs scrotaux, ensuite un animal des sous-groupes 2 et 4, tous les jours durant un mois, dans les muscles de la région lombaire. Les deuxièmes Lapins de ces quatre sous-groupes sont respectivement traités de la même façon mais au moyen de sérum de lait urénilé, les troisièmes de chacun de ces quatre sous-groupes respectivement de même mais au moyen d'urénile seul (doses correspondantes pour les trois produits).

Or, chez deux animaux seulement sur quatre, dans nos essais, les injections scrotales déclanchent un phénomène d'Arthus assez net, et celui-ci entraîne une amélioration évidente. C'est, d'une part, chez un Lapin traité au sérum de lait urénilé, d'autre part chez un Lapin traité au sérum de lait seul, l'amélioration ne se montrant, au surplus, pas plus accusée chez l'un que chez l'autre. Chez les dix autres animaux, les réactions sont nulles ou insignifiantes et les syphilomes évoluent sensiblement comme chez les animaux témoins non traités. En d'autres termes, les résultats que nous avons obtenus ont été pratiquement les mêmes chez les Lapins traités au sérum de lait seul que chez ceux traités de la même façon au sérum de lait urénilé, ce qui revient à dire qu'*en associant de l'urénile au sérum de lait nous n'avons pas réussi à produire sur la syphilis testiculaire primaire du Lapin*

(13) Gérard, *Essais de désensibilisation par la protéinothérapie associée à la chimiothérapie dans certaines affections cutanées* (*Société belge de Dermatologie et de Syphiligraphie*, Bruxelles, séance du 2 décembre 1928 ; *Revue Thérapeutique « Meurice »*, avril 1929, 11, 406).

(14) Produit commercial préparé par l'Union chimique belge, division Meurice.

(15) Composition donnée plus haut.

(16) Travail non encore publié.

des effets plus heureux que ceux que le sérum de lait est capable de réaliser à lui seul, en provoquant un véritable choc anaphylactique local.

D. — Discussion et application à la syphilis humaine

Le caractère purement local de l'action curative du phénomène d'Arthus sur les manifestations syphilitiques du Lapin est a priori plus que probable, surtout que certains de nos animaux (Lapin 894/F21 par exemple) ont présenté des métastases spécifiques avérées, au moment même où ils subissaient l'influence tréponémicide. Néanmoins, nous avons voulu démontrer la chose de façon péremptoire et nous avons transféré dans les testicules d'animaux neufs les ganglions poplités de Lapins guéris de leurs syphilomes testiculaires à la suite d'une réaction anaphylactique intrascrotale : *les résultats furent positifs.*

Nous nous sommes demandé ensuite si l'action favorable, dont il s'agit, ne peut pas être attribuée, ne fût-ce que partiellement, à une augmentation de température survenue éventuellement au sein du tissu influencé. Car cette hypothèse ne nous paraît pas devoir être théoriquement exclue, puisque nous avons observé, d'une part, chez des Lapins avantageusement traités, soit des températures intrarectales passagères de 40°,1 à 40°,5 (Lapins 3/EV, 12/EV, 6/EV), soit des températures intrarectales durables de 39°,9 à 40°,4 durant deux jours ou de 40°,2 durant vingt-quatre heures (Lapin 6/EV), et que nous avons établi, d'autre part [17], que les Tréponèmes syphilitiques disparaissent rapidement d'un tissu qu'ils infectent, lorsque ce dernier subit, sous l'action d'une source non lumineuse [18], un chauffage d'environ un heure à 42° ou de deux heures à 40° ou de plusieurs heures à une température de quelques dixièmes plus basse que 40°.

Seulement, nous nous sommes rappelé que la température des testicules normaux ou syphilitiques du Lapin, à condition qu'ils soient extériorisés depuis au moins quelques minutes, est toujours de plusieurs degrés inférieure à la température intrarectale [19]. Puis, nous avons mesuré à plusieurs reprises, soit au moyen du « Tiefenthermometer » de Zondek, soit au moyen de l'aiguille thermo-électrique, la température intratissulaire de syphilomes en voie de guérison sous l'influence de phénomènes anaphylactiques locaux bien établis, sans jamais avoir pu constater une température locale supérieure à 37°,5. Même en certains cas (Lapin 894/F21, par exemple), la température intratissulaire du syphilome n'atteignit que 35°,2,

[17] A. Bessemans, *L'application locale de la chaleur comme adjuvant dans la prophylaxie sociale et individuelle de la syphilis et le rôle de la température tissulaire dans la pathogénie et la « pyrétothérapie » générale de l'infection syphilitique* (*Bruxelles-Médical*, 11 août 1929, 41, 1130 ; *The Urologic and Cutaneous Review*, février 1930, **34**, 2, 71).

[18] A. Bessemans et Fr. De Potter, *Actino-thermothérapie et actino-thermoprophylaxie des syphilomes testiculaires primaires du Lapin. Action stimulante de l'Infrarouge sur la vitalité du Tréponème pâle* (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, séance belge du 28 juin 1930).

[19] Publications signalées à la note [17].

35°,7 ou, les cuisses rapprochées, 36°,9 à 37°, alors que la guérison survint par réaction d'ARTHUS parfaitement comme chez les autres.

Ces considérations suffisent à prouver que *l'effet curatif par choc anaphylactique local relève d'autres facteurs que d'une simple augmentation durable de la température des lésions. Selon toute vraisemblance, la vitalité ou du moins la virulence du virus syphilitique est victorieusement combattue par les modifications dites allergiques, survenues dans le tissu anaphylactisé, sous l'influence du phénomène d'*ARTHUS.

Et c'est alors que nous avons songé aux publications de DUJARDIN, qui vient de résumer en un travail remarquable [20] ce que ses recherches l'ont conduit à penser de l'importance de la notion d'allergie dans l'évolution de la syphilis humaine. Il a notamment fait ressortir que le tertiarisme, cliniquement caractérisé par la formation de gros infiltrats, les gommes, s'explique élégamment par une hypersensibilisation tissulaire au Tréponème, avec accroissement allergique des forces défensives de l'organisme. Ce nouvel et violent effort du terrain, parfaitement équivalent au phénomène de Koch dans la tuberculose, on pourrait utilement le provoquer, lorsqu'il reste déficient, par des injections répétées de protides hypersensibilisants. Car l'apparition de l'allergie, qu'elle soit spontanée ou artificielle, précoce ou tardive, aurait pour effet de réaliser, au niveau des foyers où elle survient, des réactions d'une puissance curative manifeste, réactions qui constitueraient ainsi la base rationnelle et la fin de la protéinothérapie dans la syphilis anallergique (syphilis secondaire tardive et parasyphilis).

Jusqu'à présent, pour autant que nous sachions, cette théorie séduisante de DUJARDIN ne porte à son actif aucun argument fourni par l'expérimentation sur l'animal, probablement pour la raison que le Lapin, l'animal de choix pour l'étude de la syphilis expérimentale, non seulement ne s'hypersensibilise de lui-même que peu ou pas vis-à-vis du Tréponème [21], mais encore ne se prête que difficilement et irrégulièrement à des essais expérimentaux d'hypersensibilisation générale.

Mais les faits rapportés dans ce travail ne sont-ils pas précisément l'expression d'une allergisation aspécifique [22] de certains tissus du Lapin, réalisée au niveau d'une lésion syphilitique extérieure, propice à l'obser-

[20] B. DUJARDIN, *L'immunité et les syphilis nerveuses. Importance de la notion d'allergie dans l'évolution de la syphilis* (*Archives dermato-syphiligraphiques*, Paris, **1**, fascicule 3, 439).

[21] C'est vraisemblablement un des motifs pour lesquels le véritable tertiarisme manque ou est rare dans l'évolution habituelle de la syphilis du Lapin, de même que les intraderno-réactions, effectuées chez les Lapins syphilisés tant avec des produits tréponémiques que non tréponémiques, sont fréquemment négatives (A. BESSEMANS et Fr. DE POTTER, *Sensibilité intradermique du Lapin normal et syphilitique aux injections de protéines non spécifiques et de produits préparés avec le « Treponema pallidum » des lésions ou des cultures* (*Comptes rendus de la Société de Biologie*, séance belge du 3 mai 1930, **104**, 17, 339).

[22] Il n'est pas étonnant que le Lapin puisse s'hypersensibiliser vis-à-vis du Tréponème par des injections répétées de protides divers, puisqu'il est avéré que, chez cet animal, l'hypersensibilisation (l'anaphylaxie comprise) n'est nullement spécifique.

vation ? En tout cas, nous y retrouvons les deux points capitaux de la thèse énoncée, à savoir : d'une part, la stimulation des forces défensives des tissus sous la forme d'une guérison plus rapide des syphilomes, d'autre part, en certains cas, notamment lorsque l'accélération de la guérison est interrompue par l'arrêt des injections, l'accroissement de la capacité réactionnelle des tissus sous la forme d'une augmentation considérable de la dimension des lésions.

Nous arrivons donc en fin de compte, indépendamment et par une voie spéciale, *à des vues analogues à celles de* Dujardin, *du moins en ce qui concerne l'influence bienfaisante de l'allergisation locale*, et il n'est pas impossible qu'on parvienne un jour à allergiser l'organisme du Lapin en entier, suffisamment pour modifier d'une façon plus démonstrative encore l'allure essentiellement anallergique de son infection syphilitique.

Qu'il nous soit permis, avant de clore cet exposé, de transcrire la relation de deux observations sur l'Homme, qui nous ont été aimablement communiquées et qui nous semblent constituer de précieux documents pour la question envisagée. Les voici, avec les détails que nous sommes autorisés à publier :

Le professeur Nolf nous écrit : « J'ai usagé chez quelques syphilitiques à lésions secondaires bien apparentes la protéinothérapie non spécifique, au moment où j'étudiais l'action de cette médication dans les états infectieux aigus, fièvre typhoïde et septicémies à streptocoque hémolytique... Je me souviens notamment d'une éruption presque confluente de larges syphilides papulo-nummulaires de la région vulvaire chez une prostituée de F..., qui disparurent complètement après une série de 12 à 15 injections intraveineuses de 10 cm³ de solution à 10 % de peptone de Witte, faites tous les deux jours, sans aucun autre traitement général ou local... »

Un autre collègue nous fait savoir : « Un malade d'une quarantaine d'années souffre d'une ulcération profonde et diffuse, diagnostiquée sarcome, mais des raisons impérieuses s'opposent à une intervention chirurgicale. *Ut aliquid*, il est fait tous les huit jours une injection de 0,5 à 1 cm³ de sérum antidiphtérique de Cheval, aussi bien que possible autour de l'ulcère, dans un rayon de 5 à 8 cm. La manœuvre se répète durant des mois. Car, dès que le patient devient sensible au sérum, chaque injection produit en quelques minutes un oedème anaphylactique local notable, englobant l'ulcération, avec le résultat remarquable qu'il se produit chaque fois une tendance à la cicatrisation, réduisant, dans les deux à quatre jours suivants, d'un centimètre environ le diamètre du mal. Ce dernier est ainsi maintenu tolérable avec l'espoir de prolonger simplement la vie, lorsqu'un jour une série de gommes apparaissent au loin et font diagnostiquer une syphilis. Une cure spécifique intensive est alors instituée et suivie de guérison radicale. »

Sans doute y a-t-il encore des médecins qui connaissent des faits analogues. C'est pourquoi nous avons cru utile d'éveiller dans ce sens leur attention, la clinique pouvant très utilement contribuer à la solution du problème. En guise de conclusion, nous souscrivons volontiers à l'opinion judicieuse de Nolf, résumée dans la lettre à laquelle nous avons fait allusion : « Je reste convaincu que la protéinothérapie non spécifique sous l'une ou l'autre de ses formes est active dans la syphilis et pourrait être associée avantageusement aux médicaments spécifiques dans certains cas rebelles à l'action de ceux-ci. »

CONTRIBUTION À L'ANATOMIE PATHOLOGIQUE DE L'HYPERTENSION ARTÉRIELLE

par N. GOORMAGHTIGH

Professeur à l'Université de Gand.
(Laboratoire d'Anatomie pathologique de l'Université de Gand).

Les travaux de Hering, Koch Mies et Nordmann et de C. Heymans sur le sinus carotidien remettent l'étude anatomo-pathologique des hypertendus sur un plan d'actualité. Comme je l'ai dit ailleurs deux voies méritent d'être explorées. La première consiste à voir si l'étude nécropsique de la région du sinus carotidien apporte des données compatibles avec un rôle pathogénique de celui-ci dans le syndrome hypertensif humain. La deuxième servira à définir le tableau A. P. de l'hypertension expérimentale qui par ricochet nous permettra de tenter l'interprétation de certains aspects pathologiques de l'hypertension humaine.

Dans la première voie peu a été fait. Dietrich observa chez quatre hypertendus une forte sclérose de région du sinus. Nos propres recherches ne sont pour le moment qu'une entrée en matière. Il y a quelques mois j'ai donné à la Société de Sciences Naturelles de Bruxelles les seules données actuellement à ma disposition sur cette question. La région du sinus carotidien est effectivement souvent le siège de lésions. Déjà chez des sujets de vingt-quatre ans, on peut voir des petites taches atheromateuses infiltrer l'intima. Elles sont précédées par la formation d'une ligne athéromateuse au niveau de la carotide commune. A un stade plus avancé cette ligne devient une bande s'évasant vers la zone de bifurcation en carotide interne et externe où l'infiltration forme un anneau n'intéressant au début que l'intima. Dans des cas plus graves, cet anneau devient fibreux ou s'imprègne de sels calcaires, ces dépôts ou ces altérations atteignant alors des couches plus externes de l'artère. Ces plaques calcaires s'ulcèrent même quelquefois. Je tiens à souligner que l'existence de cette virole scléreuse, calcaire ou ulcérée est la lésion la plus fréquemment rencontrée. Les altérations intéressent aussi le bulbe carotidien lui-même compromettant la souplesse de ses parois par le dépôt de masses hyalines ou calcaires. Mais l'allure et l'importance de ces lésions sont beaucoup plus variables. A cette atteinte de la zone du sinus, il faut opposer l'intégrité, à de très rares exceptions près, de la carotide externe.

Le degré d'altération n'est pas fonction de l'âge. Des vieillards peuvent

présenter des sinus carotidiens souples tandis que des hommes d'âge mûr en possèdent de rigides.

Il va sans dire que ces lésions athéromateuses, hyalines ou calcaires ne sont jamais les seules que présente l'arbre circulatoire. Depuis longtemps et plus particulièrement depuis les travaux de Jores on admet une certaine systématisation de l'athéromasie vasculaire. A une artériosclérose centrale (aortique) on oppose une artériosclérose périphérique intéressant les vaisseaux des membres et des artérioles.

Il existe un rapport constant entre les altérations sinusoïdales et les lésions aortiques. Les unes n'existent pas sans les autres. Quand le sinus est altéré, la crosse aortique l'est aussi. Une fois sur trente cas observés, le sinus était indemne alors que la crosse aortique présentait de multiples plaques calcaires.

D'autre part, nous avons observé à maintes reprises une artériosclérose très accentuée des iliaques et une calcification presque complète des artères fémorales sans lésions appréciables des sinus.

Nous avons examiné jusqu'à présent trente sujets et soigneusement noté et décrit la région du sinus carotidien. Nous avons ensuite groupé d'un côté les grosses lésions et d'autre part les lésions minimes ou nulles. Pour chaque cas nous avons en même temps annoté le poids du cœur.

Or, dans le premier groupe — celui des fortes lésions — le poids du cœur dépasse toujours sensiblement 250 grammes pour la femme, 300 grammes pour l'homme (poids moyen des sujets dits normaux). Sur dix-huit cas, il y a une exception.

Dans le second groupe, le poids du cœur ne dépasse pas le poids normal (à quelques exceptions près).

Or, le poids du cœur est pour nous un indice précieux même en l'absence de renseignements cliniques. Car en mettant de côté la notion fort discutable de la myocardite hypertrophique, on peut dire que l'hypertrophie cardiaque résulte soit de lésions valvulaires, soit d'uue gêne chronique dans la circulation pulmonaire, soit d'une hypertension accompagnée ou non de néphrite. Or, précisément dans notre premier groupe toutes les hypertrophies cardiaques ne s'expliquent que par un état hypertensif plus ou moins prononcé, quelquefois confirmé par des données cliniques. Dans le deuxième groupe, nous avons noté des chiffres supérieurs à la normale mais il s'agit alors de cardio-pathies valvulaires.

Les présomptions en faveur d'une relation entre une lésion du sinus et du syndrome hypertensif se précisent donc d'une façon assez démonstrative et d'autant plus par l'analyse de chaque cas en particulier. Cependant, nous voulons insister sur l'existence de quelques exceptions qui nous incitent encore jusqu'à présent à une certaine prudence (voir notre communication, *Ann. et Bull. Soc. Royale Sciences Médicales Bruxelles*, 1930, n°s 3-4).

Il faut faire une autre remarque : il n'existe pas de proportionalité entre la lésion et le degré d'hypertrophie cardiaque. Encore ici faut-il tenir

compte de la durée d'évolution du syndrome hypertensif. Le cœur n'atteint que lentement, soit après des années un poids de 600 à 900 grammes.

Notre série comprend des hommes de 30 ans morts de pneumonie dont le cœur pèse déjà 400 grammes et le sinus déjà fortement scléreux.

Ce sont là des arguments favorables à une intervention précoce du sinus carotidien

Rien ne serait cependant plus déplacé pour le moment que de rendre le sinus carotidien responsable, à lui seul, de l'hypertension artérielle humaine.

Ces recherches apportent surtout des arguments en faveur d'une pathogénie nerveuse (générale) de l'hypertension. Les altérations macroscopiques au niveau du sinus ne font qu'illustrer plus clairement qu'ailleurs le rôle possible d'un dérèglement des zones réflexogènes. Comme le remarque notamment Hering, à l'origine le dérèglement est peut-être purement fonctionnel, indécelable par les moyens morphologiques. Il existe d'ailleurs d'autres zones réflexogènes le long de l'arbre circulatoire et particulièrement au niveau des artérioles précapillaires du domaine splanchnique. Ces zones se prêtent jusqu'à présent mal à l'exploration expérimentale et morphologique. Les recherches de l'ordre que nous venons de rappeler, permettront d'ouvrir la voie. En un mot le sinus carotidien n'est vraisemblablement qu'un des éléments pathogéniques constant ou occasionnel. Mais son rôle pathogénique repose sur des arguments très défendables à condition qu'on ne s'attarde pas à des vues étroitement morphologiques.

*
* *

Dans la deuxième voie, nous possédons déjà des documents fournis par Nordmann qui a surtout été frappé par l'apparition des athéromasies aortiques et par des lésions de néphrite intestitielle.

Nous avons abordé le même problème et pu observer que l'énervation du sinus et du nerf de Cyon réalise, en effet, quelquefois l'artériosclérose de l'aorte. Comme on le sait cette artériosclérose aortique n'a pas dans la pathologie humaine de l'hypertension une signification pathognomonique. Ainsi serait-ce une illusion d'espérer pouvoir transposer sans plus les données du lapin à l'homme, surtout dans le domaine morphologique. Il faut voir la question de plus haut et vouloir dans ces expériences chercher surtout à interpréter les phénomènes observés en clinique humaine. Qui dit lésions athéromateuses dit trouble du métabolisme des graisses et liquides et aussi de l'ion Ca.

Or, dans ce domaine, l'expérimentation sur animaux nous a fourni deux données extrêmement intéressantes. Tout le travail endocrinologique moderne démontre :

1° Qu'il y a un rapport entre le métabolisme des lipides et le cortex surrénal ;

2° Qu'il y a un rapport entre le métabolisme du Ca et les parathyroïdes.

Ce n'est pas ici le moment de définir ces rapports. Ils sont, en particu-

lier pour la surrénale, encore bien loin d'être nettement définis. Mais passons outre.

Or, nos recherches nous ont montré que l'énervation du sinus a une remarquable répercussion sur le cortex surrénal.

Vers le quatrième mois l'hyperplasie est considérable. Le poids de la glande monte de 380-400 grammes à 850 grammes. Plus tard apparaît un retour vers la normale.

Cette hyperplasie résulte essentiellement d'une accumulation d'éthers de cholestérine dans les cellules qui gonflent à la façon d'une éponge. Le phénomène est selon toute vraisemblance dû à une hypercholestérinémie considérable (voir Aschoff). En d'autres termes, l'hyperplasie corticale est le reflet d'une perturbation de la cholestérine dans le sens d'une plus grande mobilisation de cette substance dans le sang.

Tout comme chez les lapins gavés de cholestérine, nous pourrons donc, par l'énervation du sinus qui influence les centres du métabolisme, créer les mêmes circonstances favorables aux lésions premières de l'athérome.

En rapport avec le métabolisme du Calcium, nous devons souligner nos observations sur les parathyroïdes. Elles sont du plus haut intérêt. Du point de vue morphologique elles n'avaient pas encore attiré l'attention dans l'étude du problème qui nous préoccupe ici. Or, l'examen des lapins énervés par C. Heymans montre qu'elles peuvent être le siège d'hyperplasies considérables. Elles atteignent le volume de la thyroïde à tel point qu'on se méprend au cours du prélèvement des organes ; ce qu'on croit être une thyroïde, se révèle sur les coupes comme purement parathyroïdien.

Cette hyperplasie résulte incontestablement mais peut-être pas uniquement, d'une multiplication intense des éléments cellulaires parathyroïdiens. Certaines glandes sont bourrées de divisions caryocinétiques. Cette hyperplasie correspond à un fonctionnement exagéré de la glande Les dimensions nucléaires et protoplasmiques sont sensiblement supérieures à celles des animaux contrôlés. Le noyau est turgescent plus chromatique que chez les lapins normaux. Les cellules sont nettement cylindriques et la bipolarité cellulaire que Courrier et Reiss ont soulignée chez les jeunes chats s'affirme ici dans toute sa netteté. Le polymorphisme cellulaire, à peine prononcé chez le lapin normal est des plus accusé. De grosses cellules à fines cellules cosinophiles (oxyphiles de Welsh), tatouent la préparation. Les vacuoles sont très nombreuses.

Cette hyperactivité est-elle primitive ou secondaire? En d'autres termes l'énervation du sinus est-elle capable de stimuler directement la parathyroïde ou bien l'hyperphasie représente-t-elle une réaction contre une tendance vers l'hypocalcémie de l'animal énervé? Des expériences physiologiques devront trancher la question. Dans la première éventualité, l'hyperactivité primitive de la parathyroïde conduirait dès le début à une hypercalcémie : fait qu'il sera facile de vérifier. Il convient de remarquer que jusqu'à présent toutes les hypertrophies parathyroïdiennes remontent en réalité à une hypocalcémie primitive. Un régime pauvre en sels calcaires,

un régime avitaminé rachitique (Erdheim) a conduit à des hyperplasies de la glande.

Quoi qu'il en soit, nos observations indiquent que l'énervation du sinus a une répercussion profonde sur le métabolisme calcique. D'autre part, BOUCKAERT et REGNIERS ont montré que les parathyroïdes de même que les sels de Ca sont indispensables pour la mise en action du réflexe.

De tout ceci il résulte que l'altération ou la suppression d'un jeu de réflexes comme celui du sinus carotidien, peut avoir directement ou par l'intermédiaire des surrénales et parathyroïdes des répercussions capables de provoquer des conditions favorables à la création de lésions artérielles et de rendre durables les facteurs qui concourent à maintenir l'hypertension artérielle et qui à l'origine n'étaient que d'ordre purement fonctionnel.

Ces observations et déductions permettent d'entrevoir la pathogénie de l'hypertension artérielle d'un point de vue assez large. A l'origine il n'y aurait pas de lésions morphologiques mais bien un dérèglement fonctionnel des zones réflexogènes dont les modalités restent encore à déterminer mais qui équivalent cependant, à certains endroits, à leur suppression ou leur atténuation (sinus carotidien). Ces troubles retentissent sur le métabolisme des lipoïdes comme en témoigne l'hypertrophie corticosurrénale vraisemblablement transitoire et sur le métabolisme calcique rendu évident par l'hypertrophie parathyroïdienne et déjà entrevu par Kylin chez les hypertendus.

C'est ce dérèglement humoral qui favorisera le processus athéromateux tout le long de l'arbre circulatoire et surtout là où les zones réflexogènes sont en défaut. Les altérations morphologiques, dont nous avons montré la réalité à ce niveau finiront par donner à l'affection son caractère indélébile et permanent.

BIBLIOGRAPHIE

Pour la bibliographie nous renvoyons à :

N. GOORMAGHTIGH, *Le problème de l'hypertension artérielle considéré du point de vue anatomo-pathologique.* (*Ann. et Bull. Soc. Roy. des Sciences médicales et Naturelles de Bruxelles*, 3-4, 1930).

N. GOORMAGHTIGH, *Het anatomo-pathologisch stand punt in het ontstaan van hoogdruk* (*Vlaamsch Geneeskundig Tijdschrift*, 21, 1930).

C. HEYMANS, *Le sinus carotidien*, Louvain, Paris (Presses Univ. de France), 1929.

J.-J. BOUCKAERT et REGNIERS, *C. R. Soc Biologie*, **102**, 1930.

LA RÉACTIVATION DE LA RÉACTION DE BORDET-GENGOU DANS LA TUBERCULOSE

par Chr. DUPREZ (Bruxelles).

L'injection d'une petite quantité de tuberculine dans le derme d'un cobaye neuf, n'est suivie d'aucune manifestation visible à l'endroit où le liquide a pénétré. Au contraire, chez le cobaye antérieurement inoculé à l'aide de bacilles tuberculeux, l'injection intracutanée de tuberculine, amène la formation d'une réaction locale sous la formule d'une papule érythémateuse plus ou moins intense. C'est le phénomène de l'allergie (von Pirquet).

Dans l'espèce humaine, le plus grand nombre des adultes ont une cuti-réaction tuberculinique positive, témoignage d'une contamination remontant habituellement à l'enfance.

L'infection syphilitique détermine également l'apparition de phénomènes d'allergie. Mais ici, les réactions allergiques, que l'on peut mettre en évidence par la luétine (Noguchi), extrait de cultures pures de spirochètes, sont beaucoup plus rares et plus temporaires, au contraire de ce qui se passe dans la tuberculose. Elles sont, par contre, beaucoup plus violentes, et contemporaines des lésions caractéristiques du tertiarisme.

On peut ainsi déceler les réactions allergiques, en se servant de produits spécifiques. On peut, cependant, les obtenir également, en injectant des substances albuminoïdes non spécifiques, telles que les composants du lait, ou du sérum de cheval : hétéro-allergie (Dujardin et Duprez). Notamment, on obtient chez les syphilitiques tertiaires, à lésions actives, des réactions tuberculiniques extrêmement violentes, beaucoup plus importantes que n'en montrent les tuberculeux allergiques.

L'allergie n'est donc pas étroitement limitée à des substances spécifiques. Elle déborde les limites de la spécificité, pour s'étendre à des produits banaux.

L'allergie est l'expression locale d'une sensibilisation générale de l'organisme. Les réactions non spécifiques peuvent s'expliquer par le fait, constaté par Dujardin et Decamps, que l'introduction dans l'organisme, d'un antigène déterminé exalte non seulement une sensibilité particulière à cet antigène, mais aussi des sensibilités à d'autres substances, à la condition, semble-t-il, que ces sensibilités soient préexistantes. On peut voir, par exemple, que l'injection sous-cutanée de sérum de cheval, chez un tuberculeux, provoque une augmentation très nette du taux des anticorps présents dans le sang, décelables par un antigène tuberculeux.

Or, la réaction de Bordet-Gengou, appliquée au diagnostic de la tuberculose, se montre négative dans environ 15 pour cent des cas de tuberculose avérée, probablement à cause de la trop faible quantité d'anticorps présents dans ces cas. Il suffit d'injecter à ces tuberculeux, dont la séro-réaction est négative, 2 cm^3 de sérum de cheval sous la peau, pour voir, après quinze jours, leur séro-réaction devenir positive, dans la presque totalité des cas. Ce procédé assure donc à la réaction de fixation de l'alexine, une valeur plus grande pour le diagnostic de la maladie tuberculeuse.

Il est bon d'ajouter que l'injection de sérum de cheval à des individus normaux, bien que porteurs d'une cuti-réaction positive, ne nous a jamais donné des résultats analogues.

Il ne s'agit pas d'une action particulière au sérum de cheval, l'injection de lait pouvant servir également. L'anatoxine diphtérique donne des résultats plus inconstants, des phénomènes secondaires intervenant ici, en vertu de l'immunité anti-diphtérique installée chez la plupart des adultes.

L'injection sous-cutanée de sérum aux tuberculeux ne nous a jamais paru provoquer d'incidents fâcheux. Elle entraîne parfois une très légère poussée thermique, durant deux ou trois jours.

La recherche de cette réactivation nous a donné des résultats semblables dans des cas divers de tuberculose dite chirurgicale.

L'ACTIVITÉ SÉCRÉTOIRE DE LA THYROÏDE EST-ELLE DÉPENDANTE DE « NERFS SÉCRÉTEURS » ?

par le Dr Eug. VANDEPUT

Agrégé de la Faculté de Médecine (Bruxelles)

Introduction

L'étude du fonctionnement de la thyroïde a déjà dégagé des faits nombreux ; leur valeur et leur forme sont désormais certaines mais ils ne font guère plus que définir et préciser les propriétés générales de la glande. Dès qu'on essaie d'aller au cœur des phénomènes pour en découvrir le mécanisme intime, l'on n'est plus guidé que par d'obscures clartés ; tout se fait imprécis, sombre, incertain.

Et ceci est particulièrement vrai quand on s'inquiète du mécanisme de la fonction sécrétoire ou, encore, quand, abordant le domaine de la maladie, on cherche à comprendre le déterminisme pathogénique de syndromes tels que le Basedow.

Assurément, l'indépendance des glandes endocrines vis-à-vis du système nerveux est très large; les expériences d'énervation, de transplantation, de circulation artificielle le prouvent, mais on ne peut nier que, notamment pour la surrénale et la thyroïde, les interrelations avec le système nerveux soient évidentes. Même, certains auteurs ont considéré la thyroïde comme un organe interposé sur les voies nerveuses, comme un relai situé entre le centre émettant les excitations et les organes auxquels elles sont destinées : sous l'influence d'une impulsion nerveuse, la thyroïde élaborerait des hormones qui ont, notamment, une destination nerveuse et qui, ainsi, joueraient le rôle de multiplicateur d'excitations. Quoi qu'il en soit, il est certain que les hormones thyroïdiennes exercent une action nette sur le système nerveux et, particulièrement, sur ses composants végétatifs. Leur emprise sur le sympathique, les modifications qu'elles impriment à son fonctionnement et à son tonus sont évidentes ; certains auteurs même se sont crus autorisés à bâtir une théorie sympathicogène du Basedow, théorie à laquelle les résultats heureux d'interventions sur le sympathique de Basedowiens et, aussi, l'existence de lésions — parfois rencontrées — des éléments sympathiques dans le Basedow ont apporté une apparence de preuve. Mais cette théorie est peut-être un peu trop simpliste et, d'autre part, elle néglige le caractère vagotrope que ces hormones possèdent également.

Mais si l'action de la sécrétion thyroïdienne sur le système nerveux paraît bien prouvée, la participation du système nerveux au mécanisme sécrétoire de la thyroïde est encore l'objet de controverses.

Pour que l'étude de cette participation soit complète, elle doit satisfaire aux trois questions suivantes : d'abord, le système nerveux de la thyroïde est-il l'agent ou l'un des agents qui suscite la sécrétion thyroïdienne ; ensuite, s'il en est ainsi, quels sont, parmi les nerfs végétatifs, ceux-là — sympathique ou vague — qui interviennent ; enfin, comment se fait cette intervention ?

Opinions contradictoires des auteurs quant au rôle du système nerveux de la thyroïde

Différents auteurs ont cherché à provoquer des modifications de la fonction thyroïdienne en agissant — soit par section soit par excitation — sur les nerfs qui se rendent à la glande et qui se distribuent non seulement à ses vaisseaux sanguins mais aussi à ses cellules.

Voyons d'abord les résultats de l'expérimentation sur le nerf vague.

I. — Rôle des rameaux thyroïdiens du nerf vague

De Cyon, François-Franck et Hallion, Asher et Flack localisèrent les filets vaso-dilatateurs de la thyroïde dans le laryngé supérieur. L'excitation du bout périphérique de ce nerf produit invariablement une vasodilatation considérable du corps thyroïde et il s'agit bien d'une action vasodilatatrice directe car ni la pression artérielle (mesurée à la fémorale) ni le volume du rein ne varient. L'excitation électrique des laryngés inférieurs ne dilate pas, le plus souvent, les vaisseaux thyroïdiens.

Les excitations électriques des nerfs, en produisant des effets vasomoteurs, peuvent influencer la thyroïde par l'intermédiaire de ceux-ci et les seuls faits ci-dessus cités n'autorisent pas encore à parler de nerfs sécréteurs.

Mais, pour Asher et Flack, l'activité thyroïdienne, tout en pouvant être conditionnée par les apports sanguins, n'en serait pas moins sous le contrôle prépondérant de nerfs sécréteurs, comme le sont — par exemple — les glandes salivaires. Ces fibres sécrétoires seraient localisées dans les laryngés et particulièrement dans le laryngé supérieur.

La démonstration de l'action sécrétoire d'un nerf, quand il s'agit de la thyroïde, n'est pas aisée à rendre évidente. Asher et Flack pensent que l'on peut prendre comme critères d'une telle activité les deux faits suivants :

1° Les substances d'origine thyroïdienne augmentent l'excitabilité du nerf dépresseur (De Cyon) ;

2° Elles modifient l'action hypertensive de l'adrénaline (Kraus et Friedenthal).

Si l'excitation du laryngé produit une sécrétion thyroïdienne, l'excitabilité du nerf dépresseur augmentera pendant ce temps et, de même, l'action de l'adrénaline — injectée pendant l'excitation du nerf sécréteur — sera modifiée.

Eh bien, quand on excite — simultanément au dépresseur — le laryngé supérieur, la chute de pression artérielle est plus grande et sou-

vent plus prolongée que quand le dépresseur est excité seul. D'autre part, l'excitation des deux laryngés supérieurs renforce — en hauteur et en durée — l'action hypertensive d'une injection intraveineuse d'adrénaline (à noter qu'ici les deux dépresseurs doivent être sectionnés pour éviter la dépression sanguine que cette excitation des laryngés créerait).

Tout ceci, pour Asher et Flack, signifie que l'excitation du laryngé provoque une sécrétion thyroïdienne laquelle, mobilisée dans le sang, impressionne le centre bulbaire du dépresseur — rendant ainsi plus excitable ce nerf — et sensibilise les vaisseaux à l'action de l'adrénaline.

Des extraits thyroïdiens ont la même action que l'excitation des nerfs laryngés ; celle-ci agirait donc bien en mobilisant dans le milieu humoral des hormones thyroïdiennes. Enfin, et inversement, l'extirpation de la thyroïde rend inefficiente l'excitation des laryngés ; elle annule leurs effets renforçants sur le tonus du dépresseur et sur l'action angiotonique de l'adrénaline.

Ainsi, d'après Asher et son école, l'intervention du système nerveux dans le déterminisme de la sécrétion thyroïdienne paraît évidente.

Mais, que leur critère de la sécrétion thyroïdienne soit valable ou non, leur méthode n'établit pas si les impulsions sécrétoires sont émises par les neurones du vague ou par ceux du sympathique. Car, bien que les laryngés soient des branches du pneumogastrique et contiennent, en conséquence, des éléments autonomes crâniens, ils peuvent cependant, vu les anastomoses qui unissent le sympathique au vague, n'agir que comme convoyeurs de fibres sympathiques.

Les recherches d'autres expérimentateurs sont loin d'être unanimes à confirmer l'opinion d'Asher quant au rôle joué par le nerf vague.

Sans doute, Katzenstein observe-t-il dans les follicules thyroïdiens, 50 à 75 jours après section des laryngés, une forte augmentation de la colloïde et un aplatissement notable de l'épithélium ; c'est là, semble-t-il, le signe d'une activité ralentie de la glande. Mais il constate plus tard que l'épithélium s'élève et que la colloïde se raréfie ; à ce moment, tout semble donc attester une élaboration sécrétoire active.

Pour Wyss, pour Schäfer, pour Andersson, les cellules de la thyroïde réagissent à la pilocarpine par des modifications analogues à celles que cet alcaloïde impose aux cellules de glandes sécrétantes ; inversement, pour Schmid, pour Wiener, la pilocarpine reste sans effet.

Enfin, Lübke, après section des nerfs laryngés chez le chien, n'observe — cent jours après l'intervention — aucune dégénérescence thyroïdienne; Biagi, Exner répètent ces expériences et obtiennent les mêmes résultats négatifs ; Wiener déclare que la section du vague est sans effet sur la thyroïde et Martini admet que les nerfs thyroïdiens n'ont aucune action trophique sur la glande.

En conclusion, le rôle du pneumogastrique dans le déterminisme de la sécrétion est encore bien incertain.

Nous allons voir maintenant que celui du sympathique est l'objet des mêmes incertitudes.

II. — Rôle des rameaux thyroïdiens du Sympathique

D'après Morat et Briau, les vasomoteurs du corps thyroïde seraient localisés dans le grand sympathique : vasoconstriction au-dessus du ganglion cervical inférieur, vasodilatation au-dessous. Nous avons vu que les observations de De Cyon, celles de François-Franck et Hallion, celles d'Asher ne concordent pas avec cette opinion.

Pour ce qui regarde les vasoconstricteurs, François-Franck et Hallion ont montré que la moitié antérieure (céphalique) du cordon sympathique thoracique, chez le chien, reçoit — par les rameaux communicants — des filets vasoconstricteurs lesquels, passant ensuite dans l'anneau de Vieussens, gagnent le cordon vago-sympathique cervical qu'ils suivent dans toute sa hauteur.

Parfois, l'excitation du cordon cervical (bout céphalique) déclenche un réflexe vasodilatateur, ce phénomène paraissant être sous la dépendance de fibres sensitives contenues dans ce cordon et provenant du territoire cardio-aortique. Ces faits sont intéressants parce qu'ils peuvent nous permettre de comprendre les bons effets que l'on obtient dans le Basedow par la section du sympathique cervical. Celle-ci interrompt, en effet, le trajet de fibres sensitives capables de provoquer une congestion réflexe du corps thyroïde et, peut-être, de ce fait ou par réflexe sécréteur, l'hypersécrétion thyroïdienne (François-Franck).

Cannon réunit le bout central du phrénique au bout périphérique du sympathique cervical ; il obtient — en conséquence de l'irritation du sympathique due aux mouvements respiratoires — des symptômes ayant une allure de réaction thyroïdienne : tachycardie, exophtalmie et augmentation du métabolisme.

Watts excite chez le chien le tronc sympathique cervical ou les filets nerveux accompagnant l'artère thyroïdienne supérieure ; il trouve une réduction considérable du contenu de la glande en iode.

Mais l'un des travaux les plus remarquables, c'est assurément celui de Cannon et Cattel (*Am. J. of Physiol.*, **41**, 1926). Ces auteurs avaient montré auparavant que le courant d'action d'une glande est une indication fidèle de son activité sécrétoire. Les deux phénomènes apparaissent en même temps, varient ensemble en durée, disparaissent simultanément et — fait important — sont indépendants des troubles vasculaires contemporains. Cette étroite concomitance de la sécrétion et des changements électriques justifie donc l'usage des phénomènes électromoteurs d'une glande pour déterminer les conditions de son activité.

Si la glande thyroïde du chat et le tissu voisin indifférent sont reliés à un galvanomètre, l'excitation du cordon sympathique — haut dans le thorax — évoque un courant d'action après une période latente variant habituellement entre 5 et 7 secondes. Cet effet persiste après section des laryngés supérieur et inférieur. Les expériences indiquent que les impulsions passent vers des neurones dont les corps cellulaires sont situés dans le ganglion cervical inférieur et dans un ganglion accessoire situé à quelque distance sous le ganglion cervical supérieur.

L'excitation du tronc principal du vague — avant son union avec le cordon sympathique cervical — chez un animal curarisé — et l'injection de pilocarpine, comme excitant des terminaisons craniales autonomes, n'ont pas d'effets sur la thyroïde.

Une anémie faite totale par forcipressure des carotides, durant une période égale à celle de la stimulation, ne produit pas de changement électrique notable dans la glande.

Cannon et Cattell concluent ainsi :

1° Les fibres nerveuses amyéliniques distribuées à la thyroïde appartiennent au sympathique et non au département cranial du système autonome ;

2° Leurs effets ne sont pas indirects, c'est-à-dire dus à des modifications de l'apport sanguin ;

3° Ce sont de vraies fibres sécrétrices.

Ces conclusions concordent avec l'opinion antérieurement émise de Katzenstein, de Lübke, de Missiroli, lesquels signalent, après section du sympathique, une rétention de la colloïde, une disparition des granulations cellulaires, une hyperplasie du stroma conjonctif. Elles confirment l'opinion de Wiener qui attribue au sympathique (ganglion cervical inférieur) une influence trophique (par les rameaux communicants dorsaux) et sécrétoire sur la glande thyroïde. Elles contredisent les conclusions négatives de Biagi et de Casagli, d'après lesquels le sympathique ne renferme aucune fibre favorisant ou empêchant la sécrétion thyroïdienne.

Conclusion d'ensemble. — Dès à présent, une conclusion s'impose quant au rôle que joue le système nerveux extrinsèque dans l'élaboration de la sécrétion glandulaire. A ce propos, tout n'est encore qu'incertitude ; car si certains travaux paraissent démontrer avec une force singulière le rôle éminemment actif et primordial de ce système nerveux, d'autres travaux dénient ce rôle avec non moins de netteté. Et ceci nous a incité, pour nous faire une opinion, à aborder ce problème à notre tour.

Expériences personnelles

1. *Tactique expérimentale.*

Nous avons pensé que la meilleure tactique expérimentale était celle qui, négligeant l'excitation et ses effets forcément fugaces, chercherait une action dont les effets fussent durables, permanents même. Aussi, voulant nous soumettre à la loi du « tout ou rien », avons-nous recouru — chez le chien — à des expériences de section ou d'ablation de ce système nerveux extrinsèque ; nous en avons ensuite, après un long délai, étudié les effets sur la structure de la glande.

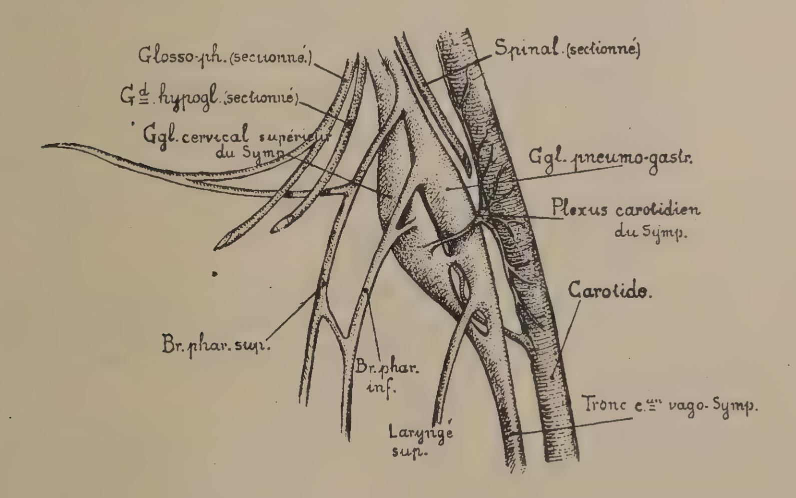
2. *Identification des nerfs thyroïdiens.*

Pour satisfaire à ce plan expérimental, il nous fallait exactement connaître les rameaux que les nerfs sympathique et vague consacrent à l'innervation de la glande. Nos dissections ont complété sur ce point les notions classiques (fig. I) (Ellenberger et Baum, *Anat. descript. et topogr. du chien* ; Charnock Bradley, *A guide to the dissection of the dog* ; Alamar-



Fig. 1. — *Innervation de la thyroïde du chien, d'après Ellenberger et Baum.*

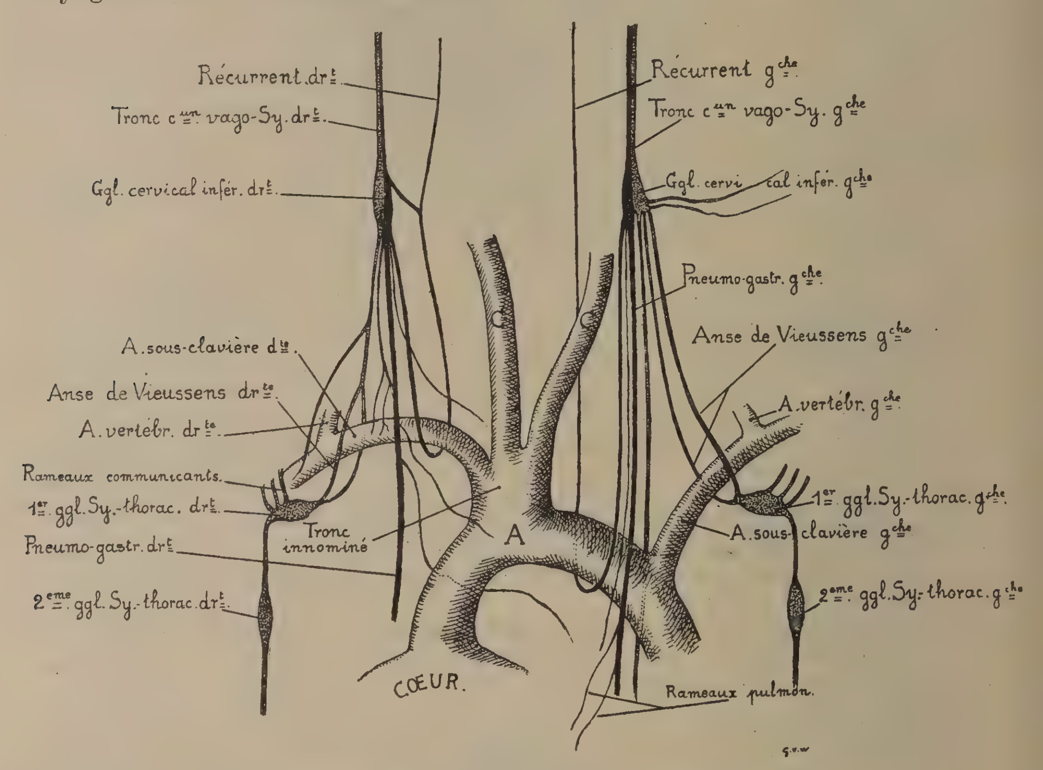
a, nerf glosso-pharyngien : *b*, sa branche pharyngienne ; *c*, sa branche linguale ;
d, hypoglosse ; *e*, sa branche descendante ;
f, branche pharyngienne supérieure du pneumogastrique ; *g*, sa branche anastomotique allant au nerf laryngé supérieur ;
h, nerf laryngé supérieur ;
i, branche pharyngienne inférieure du pneumogastrique ; *i'* ses branches pour le corps thyroïde ;
k, ganglion plexiforme (plexus nodosus) du pneumogastrique ;
l, ganglion cervical supérieur du sympathique ;
m, pneumogastrique et sympathique réunis ;
p, nerf récurrent ou laryngé inférieur ; *q*, branche anastomotique qu'il envoie au laryngé supérieur ;
n, branche ventrale et *n'*, branche dorsale du premier nerf cervical ;
o, nerf spinal ;
q, corps thyroïde.



Portion cervicale supérieure du vago-sympathique chez le chien. (côté gauche.)

Fig. 2.

TINE, *Soc. Chirug. Lyon*, 4 mars 1920 ; etc...) Les fibres vagosympathiques se distribuent à la thyroïde non seulement par le plexus carotidien du sympathique et par la branche pharyngienne inférieure mais encore par le laryngé externe et le récurrent (fig. 2, 3 et 4).



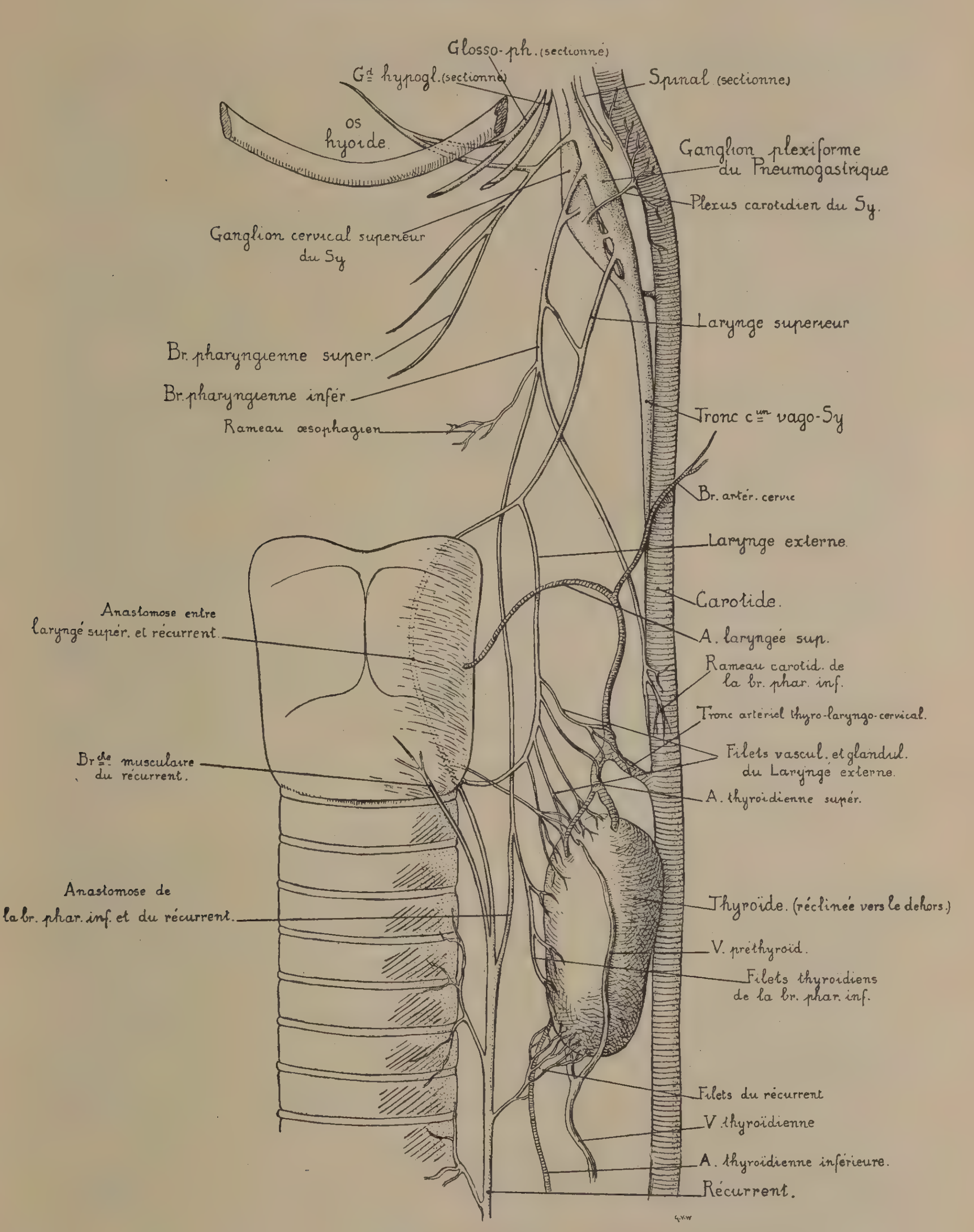
Portion cervico-thoracique du vago-sympathique chez le chien. —

FIG. 3.

3. *Choix d'une technique histologique.*

Il nous fallait aussi la possession d'une technique histologique capable de révéler, outre les altérations de l'architecture générale de la glande, les modifications de l'activité sécrétoire ; il nous fallait notamment un révélateur du chondriome.

Nous avons — dans des essais préliminaires — recouru à des fixations par le Muller-formol, par le Champy, par le Regaud, suivies de colorations à l'hématoxyline au fer ; nous avons éprouvé le Champy-Benda. Parmi ces méthodes, les deux premières et en particulier la deuxième nous ont donné un rendement fidèle et satisfaisant. C'est invariablement à cette dernière (fixation Champy, coloration alun de fer 10 % - hématoxyline) que nous avons confié le contrôle histologique de nos expériences.



Innervation de la thyroïde par le vago-sympathique chez le chien. (côté gauche.)

Fig. 4.

Voici l'aspect d'une thyroïde normale de chien traitée par cette méthode ; la coupe, épaisse de 5 à 6 μ, est vue à l'immersion. Dans toutes les cellules, qu'elles soient folliculaires ou interfolliculaires, un abondant chondriome est visible, sous la forme de grains ou de bâtonnets. Dans les cellules interfolliculaires — que l'on dénommerait volontiers, eu égard à leur taille plus grande, macrocytes thyroïdiens ou, encore, en raison de la densité moindre du chondriome, cellules claires —, le chondriome est toujours plus gros. Parfois, certains de ces macrocytes s'incorporent à la paroi du follicule. Les cellules folliculaires ont toutes une coloration égale et nous n'avons pu retrouver le type colloïde décrit par Takagi (*Folia anatomica Japonica*, septembre 1922) et que caractérise une tonalité plus sombre.

Certains granules du cytoplasme folliculaire ou interfolliculaire apparaissent comme une vacuole claire cerclée par un trait noir périphérique et témoignent ainsi d'une transmutation de leur portion centrale en un liquide transparent. Parfois la colorabilité de certains granules apparaît atténuée. Enfin, dans la colloïde de certaines vésicules, se montrent — à côté de noyaux libérés par des cellules desquamées et fondues — de grosses granulations : les unes sont fortement teintes, les autres sont pâles, à peine colorées, et entourées d'un halo plus clair encore ; l'on assiste ici à la fonte de granulations cytoplasmiques.

Enfin, pour compléter cette description histologique, disons que, autour de certains noyaux, il est parfois possible de reconnaître l'appareil de Golgi, non imprégné, « en négatif », que des gouttelettes colloïdes — enclavées dans les cellules — sont visibles de ci de là, de même que, parfois, des vacuoles de Bensley.

4. *Détail des expériences.*

Nous avons recherché si des *interventions* (section, ablation) portant *sur le système nerveux extrinsèque de la glande* modifient l'aspect histologique que nous venons d'esquisser. L'examen — pré- et post-opératoire — de la glande en expérience, conjoint à celui de la glande symétrique laissée intacte, tel a été notre critère pour juger des effets de l'énervation.

a) *Résection unilatérale du ganglion plexiforme du pneumogastrique.* — Ayant coupé, soit à droite soit à gauche, les anastomoses que le ganglion plexiforme du pneumogastrique échange avec le ganglion cervical supérieur du sympathique, ayant coupé — aussi — les branches qui en émanent (branches pharyngiennes et laryngé supérieur), nous en avons reséqué ce ganglion plexiforme.

Les quatre chiens ainsi opérés ont bien supporté cette intervention : certains d'entre eux présentèrent, du côté opéré, un myosis pupillaire toujours transitoire.

Nous les avons sacrifiés après des délais respectifs de 42, 45, 55 et 60 jours et avons étudié les deux thyroïdes, celle du côté non opéré nous servant de témoin ; le volume de cette dernière nous a paru tantôt égal, tantôt supérieur, tantôt inférieur à celui de la glande en expérience.

Résultat : L'examen histologique, portant sur de nombreuses coupes, ne démontre aucune altération ; la privation de l'apport vagal ne modifie pas l'architecture générale de la glande non plus que l'aspect de son cytoplasme et les caractères de son chondriome.

b) *Ablation unilatérale du sympathique cervical.* — Nous la réalisâmes en deux temps et toujours à droite, le récurrent — précieux repère — et sa boucle étant, de ce côté, moins bas situés et — ainsi — plus accessibles.

Le premier temps fut invariablement consacré à l'ablation du ganglion cervical inférieur (G. C. I.) ; nous reconnaissions d'abord (voy. fig. 4) le nerf récurrent et son lieu d'origine sur le tronc vago-sympathique, nous repérions le G. C. I. — généralement pigmenté — puis, après section de ses branches et, notamment, — pour supprimer l'apport thoracique — de celles constituant l'anse de Vieussens, nous passions avec le bistouri entre le tronc du pneumogastrique et les branches du G. C. I. ; nous pénétrions — en remontant — dans l'intimité du tronc vago-sympathique et nous détachions, nous énucléions — si l'on peut dire — le G. C. I. Dans les cas où nous découvrîmes un ganglion cervical moyen, nous en pratiquâmes l'ablation.

Nous enlevions aussi, sur une longue étendue, l'adventice carotidienne.

Les chiens ainsi opérés (cinq) présentèrent aussitôt un myosis pupillaire droit et une vasodilatation droite des gencives et des lèvres.

Le second temps fut exécuté après un délai de trois à quatre semaines ; il consista, après section des anastomoses et des branches émanées du ganglion cervical supérieur, en une ablation de ce ganglion.

L'un des cinq chiens mourut trois jours après l'intervention (bronchopneumonie droite) ; les autres se rétablirent rapidement.

Les quatre chiens survivants furent tués respectivement 105, 108, 117 et 125 jours après le second temps.

Résultat : Les thyroïdes droite et gauche furent chaque fois examinées. Le volume de la glande témoin fut, dans deux cas, égal à celui de la glande droite et, dans les deux autres cas, une fois supérieur et une fois inférieur au volume de celle-ci.

Quant à l'examen histologique — qui porta sur plusieurs régions des deux glandes — il ne décela rien d'anormal. Les aspects microscopiques étaient pareils des deux côtés et l'agression opératoire n'avait pas modifié, du côté opéré, l'activité de la glande.

c) *Enervation périphérique, juxtathyroïdienne, conjointe à l'ablation de l'adventice sur la carotide et la thyroïdienne supérieure.* — Dans les expériences ci-dessus citées, nous avions privé la thyroïde tantôt de l'apport vagal, tantôt de l'apport sympathique. Cette privation n'avait, semble-t-il, porté aucune atteinte au fonctionnement de la glande.

Il nous parut donc nécessaire, pour nous faire une opinion sur la question des nerfs sécréteurs, de supprimer d'une façon totale l'apport

nerveux, bref de conjoindre les deux types de résection — vagal et sympathique — réalisés isolément jusque là.

1° Mais un premier chien, chez lequel — en une même séance — nous avions enlevé contre la base du crâne les ganglions pneumogastrique et sympathique droits, était mort cinq jours après, avec des signes de pleuro-pneumonie droite. Il fallait donc agir prudemment et réduire autant que possible le traumatisme opératoire.

Nous décidâmes donc d'*enlever d'abord* le *ganglion cervical inférieur*, de *sectionner* en même temps le *récurrent* un peu *au-dessous* du *pôle inférieur* de la *thyroïde* et d'*adjoindre* à cela une *sympathectomie péricarotidienne basse*. Six chiens furent ainsi traités et survécurent. *Pour compléter* l'ablation nerveuse, ils subirent — environ *trois mois plus tard* — la *section de tous les rameaux* nerveux émanés du *ganglion plexiforme et du ganglion cervical supérieur*.

Cette fois encore, la mortalité fut écrasante : sauf un chien (chien 12), qui survécut et ne fut sacrifié qu'après 106 jours, tous les animaux moururent et précocement (2 à 4 jours). L'autopsie montra invariablement, du côté opéré, des lésions massives de congestion pulmonaire ou même



Fig. 5. — *Chien XXII. Thyroïde en expérience ; son aspect préopératoire.*

de broncho-pneumonie, et cela bien que la température de l'infirmerie où reposaient ces animaux fût toujours chaude.

2° Un *autre essai* (3 chiens) ne fut pas plus heureux : il consistait — outre une *sympathectomie péricarotidienne très étendue* — en une *section des rameaux nerveux émanés*, d'abord, *des ganglions cervical supérieur et plexiforme et émanés*, ensuite, jusqu'au bas du cou, *du tronc vago-sympathique* qui les prolonge.

Les trois animaux moururent promptement, succombant cette fois encore à des lésions pulmonaires.

3° Dès lors, nous n'avions plus — pour réaliser notre énervation — qu'une seule possibilité, celle de réaliser une *énervation périphérique*,

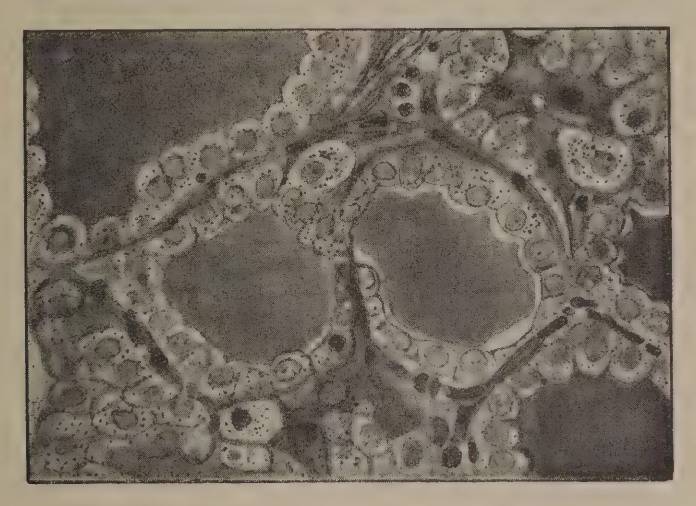


Fig. 6. — *Chien XXII. Thyroïde en expérience ; son aspect 85 jours après énervation.*

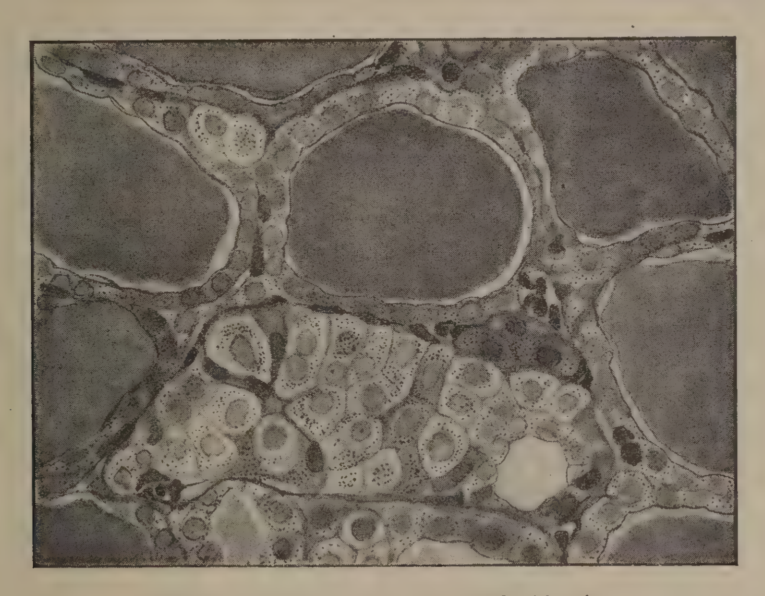


Fig. 7. — *Chien XXII. Thyroïde témoin.*

strictement juxta-thyroïdienne, et d'y conjoindre — pour qu'elle fût totale — l'*ablation de l'adventice* sur les artères *carotide et thyroïdienne supérieure*. La figure 3 suffit à faire comprendre comment cette opération peut être réalisée.

Cinq chiens furent ainsi traités dont l'un mourut, trois jours après, de pleurésie purulente bilatérale. Les quatre chiens survivants furent respectivement sacrifiés après 57, 83, 85 et 134 jours. Les deux thyroïdes furent enlevées, débitées et fixées. Des fragments de carotide, prélevés au niveau de l'émission de la thyroïdienne, furent aussi soumis à l'analyse après avoir été fixés ou par le Cajal ou par le Dustin ou par le Bouin-Hollande ; dans ces deux derniers cas, des colorations furent faites par l'orcéine ou par le Van Gieson.

Résultat : 1° L'ablation de l'adventice est satisfaisante ; 2° ces quatre chiens (et aussi le chien 12) ne montrent aucune altération de la glande. Le chondriome, à droite aussi bien qu'à gauche, est toujours abondant. La colloïde, l'architecture générale de la glande ne sont pas modifiées. Bref, rien ne révèle dans les nombreuses coupes soumises à l'examen qu'une intervention opératoire a privé de son système nerveux extrinsèque l'une des deux glandes ; leurs images microscopiques sont, vraiment, interchangeables (fig. 5, 6 et 7).

Peut-être, dans certaines coupes, l'abondance des macrocytes interfolliculaires est-elle moins grande du côté opéré mais il est prudent de n'en rien conclure car — on le sait — le nombre des macrocytes interfolliculaires varie suivant les endroits que l'on examine

Conclusions générales

Nos expériences nous ont fourni une invariable réponse : quel qu'ait été le type de l'agression opératoire portant sur son système nerveux, l'image de la thyroïde est restée pareille. Rien ne révèle, ni dans son cytoplasme ni dans sa colloïde ni dans son architecture générale, que cette glande ait été privée — partiellement ou totalement — de son système nerveux extrinsèque.

Sans doute, nos investigations n'ont pas été complètes et il conviendrait que d'autres tests — tels que le vacuome de Golgi et les affinités tinctoriales de la colloïde — fussent appliqués à une telle étude. Mais un fait, déjà, nous paraît solidement établi et c'est le degré certainement élevé d'indépendance fonctionnelle de la thyroïde vis-à-vis de son système nerveux extrinsèque et la suffisance des apports sanguins pour l'entretien de son activité.

A PROPOS DE LA PATHOGÉNIE DE L'OZÈNE

par le Dr P. GUNS

Chef de clinique O. R. L. à l'Université de Louvain.

Plusieurs théories sont encore actuellement proposées pour la pathogénie de l'ozène. Depuis plus d'un demi-siècle que les spécialistes ont voulu étudier la question, on peut dire que nos connaissances au point de vue cause et origine de la punaisie n'ont presque pas progressé. Cependant à l'heure actuelle nous avons assez d'éléments négatifs qui nous permettent d'éliminer certaines causes comme productrices de la rhinite atrophique fétide.

Comme vous savez, cette affection est caractérisée *cliniquement* par la fétidité de l'expiration nasale, par sa ténacité et sa longue durée ; *anatomiquement* par l'atrophie des cornets du nez et par un symptôme négatif non moins important l'absence d'ulcérations muqueuses, de nécroses osseuses (André Castex).

Vieussen, Rouge et Michel font dépendre l'ozène d'une maladie des cavités annexées aux fosses nasales (sinusités frontales, ethmoïdales, sphenoïdales ou maxillaires). Cette théorie vient d'être nouvellement reprise par Liebault. Cet auteur, en effet, remarque qu'un grand nombre de cas de sujets ozénaux ont leurs sinus paranasaux malades. La guérison de ceux-ci produit souvent la guérison de l'ozène, soit tout au moins une grosse amélioration.

Zaufal croit que c'est la largeur exagérée des fosses nasales, disposition primitive préexistant à l'ozène, qui, en facilitant la sortie de la colonne d'air, empêche l'expulsion du mucus. A cette théorie, on peut rattacher l'opinion de Guy Patin, Boyer, Percy, Laurent. Pour ces auteurs l'aplatissement des os propres du nez (nez camard des brachycéphales) entretient la rétention du mucus nasal et favorise la décomposition putride.

Cette théorie est encore défendue actuellement avec une certaine âpreté par plusieurs auteurs. Ainsi Lautenslager préconise-t-il d'opérer les malades atteints de rhinite atrophique par recalibrage des fosses nasales. C'est alors que se succédèrent les méthodes opératoires de Lautenslager, de Van den Wildeberg, de Moure, de Ramadier, de Higguet, de Spiess et de Halle. Ces différents auteurs par des procédés aussi variés que nombreux pratiquèrent la mobilisation de la paroi externe du nez et l'appliquèrent au contact de la cloison. D'autres inclurent dans les fosses nasales l'un de l'os, l'autre de l'ivoire.

Avant eux, il existait d'autres méthodes de recalibrage des fosses nasales. En Belgique, nous eûmes Jules Broeckaert qui préconisa comme moyen curatif de l'ozène des injections intra-conchiques de paraffine. Après lui, (1902), suivirent Moure et Brindel.

Il est étonnant de remarquer que par des procédés aussi divers on obtenait des guérisons vraiment surprenantes.

Cependant nous devons admettre que ces méthodes quasi-empiriques n'allaient pas au fond du problème.

Fleischmann en Allemagne, Halphen et d'autres en France furent frappés du fait que l'ozène atteint de préférence les jeunes gens vers l'âge de la puberté. Aussi voulurent-ils attribuer l'ozène, l'un à des variations chimiques du sang (Hypocholesterinémie très forte) l'autre à une déficience des sécrétions internes. Tous les deux admirent donc une cause générale. Certains ont même précisé et ont dit que la rhinite atrophique fétide était due à une hypo-ovarie. Cette théorie fut reprise il y a quelques mois par Hennebert et Fontaine. Ces auteurs administrent à des malades de l'Hormone sexuelle et les résultats sont bons. Nous même, nous avons essayé cette médication (orchitine) et nous devons cependant avouer que nos résultats sont loin d'être satisfaisants.

Depuis quelques temps Worms croit que l'ozène n'est qu'une manifestation locale d'un processus dégénératif général de l'os. Cette opinion, que Worms croit peut-être, être toute neuve ne l'est pas du tout. En effet, dans *Archiv für Laryngologie*, t. XXII, Alexander croit que l'ozène est dû à un trouble pathologique de la nutrition osseuse et affirme sa conviction en cette profession de foi : « Sans affection osseuse, pas d'ozène. » Glasscheib ayant fait plusieurs nécropsies d'ozéneux constate aussi que la pathologie nasale n'est qu'un symptôme d'un processus général d'atrophie. Ainsi, dit-il, le pancréas est atrophié et la sécrétion interne de cet organe est changée. Dans trente cas d'ozène, Glasscheib a aussi trouvé une diminution des lypases sanguines. Dans ce cas, l'administration de vitamine D produirait de bons effets. Or, ce n'est pas toujours le cas.

Une autre opinion c'est la théorie microbienne.

Depuis longtemps déjà, on a recherché dans les sécrétions nasales de l'ozène le microbe causal de la maladie.

Au début on a isolé différents streptocoques. Puis Abel et Löwenberg ont isolé un bacille muqueux du groupe de Friedlander. Proby et Jacod de Lyon travaillèrent beaucoup la question.

Nous avons repris les études de Löwenberg et nous avons isolé un microbe qui, après quarante-huit heures d'étuve, donnait une quantité de mucus au fond du tube.

D'après l'aspect morphologique et d'après l'aspect des cultures, nous pouvions penser que nous avions à faire au bacille d'Abel-Löwenberg. Nous avons remarqué qu'il n'en était pas ainsi en pratiquant les essais de fermentation et les réactions d'agglutinations croisées.

Nous avons poussé plus loin la question en pratiquant avec des cul-

tures spéciales la recherche de substances immunogènes dans l'organisme des malades atteints de cette affection.

Nous avons essayé des cutiréactions, des introdermoréactions et par agglutination. Toutes ces recherches ont été négatives entre nos mains.

Donc d'un aspect microscopique identique il ne faut pas conclure à l'identité absolue d'un micro-organisme.

Ce phénomène de défaut d'agglutination pour un organisme qui est microscopiquement le même serait à rapprocher du fait que pour le bacille de Friedlander, Julianelle a établi plusieurs souches qu'il distingue : 1° par l'agglutination différente ; 2° par la précipitation des sucres ; 3° par l'épreuve de l'inoculation aux animaux protégés par une sérothérapie spécifique.

Le microbe qui produit des colonies visqueuses est-il contagieux et peut-il reproduire? Ce sont les questions que nous nous sommes posées.

Nous estimons que dans des cas semblables on ne peut conclure de l'animal à l'homme comme Perez a voulu le faire. D'autre part, risquer de provoquer un ozène chez un individu est aussi peu alléchant. Par contre, trouver des rhinites atrophiques lépreuses guéries et refaire des inoculations nasales avec le microbe connu comme Blanc et Pangalos l'ont fait à Athènes, c'est chose difficile pour nous.

Mais ce que nous pouvions trouver, ce sont des rhinites atrophiques syphilitiques guéries Nous avons trouvé trois sujets qui connaissant les risques, voulurent bien se prêter à nos expériences. Nous devons admettre, à la suite de ces épreuves que le microbe isolé n'est pas pathogène dans ces cas.

Mais, objectera-t-on, il n'est pas pathogène parce que les conditions de vie de microbe sont changées par suite de l'existence d'une rhinite syphilitique antérieure. Nous n'avons pas voulu qu'on puisse nous faire cette objection et nous avons ensemencé un nez normal d'un sujet n'ignorant pas du tout les risques courus. Après dix jours, nous ne retrouvons plus le microbe isolé d'un ozéneux.

Nous pouvons donc conclure que le microbe isolé des cas d'ozène vrai n'est pas pathogène et ne produit pas de rhinite atrophique fétide quand il est installé dans les narines d'individus normaux et les nez atrophiés par syphilis.

Pérez isola des croûtes d'ozène le cocco bacillus fétidus.

Dans nos recherches nous l'avons également recherché et nous n'avons pu le retrouver qu'une seule fois et encore c'était dans des sécrétions de rhinite atrophique syphilitique.

Pérez admettait que l'ozène était causé par ce microbe parce que injecté dans la circulation veineuse du chien il parvenait à produire au bout d'un certain temps une rhinite croûteuse chez l'animal injecté.

Belfanti ayant isolé de son côté des bacilles pseudo-diphtériques et ayant obtenu des guérisons par la sérothérapie fit admettre ce microbe comme étant l'agent causal de la maladie.

Lautenschläger admit que l'ozène pouvait être causé par tous les agents produisant des fièvres éruptives chez l'enfant.

Il était naturel que les auteurs qui admirent la théorie infectieuse de l'ozène s'attaquent à cette maladie au moyen de la vaccinothérapie.

Plusieurs auteurs (Hofer, Marschik, Perez) tentèrent cette thérapeutique. Ces chercheurs obtinrent de beaux résultats dans pas mal de cas. Nous même avons voulu tenter aussi la cure vaccinothérapique. Il est à remarquer que dès les premières injections soit sous-cutanées, soit intranasales de vaccin, la muqueuse croûteuse et atrophique du nez devient plus lisse et plus rouge. Quand la cure vaccinale est terminée depuis un certain temps (six semaines à deux mois) on remarque la réapparition des croûtes et de l'atrophie. C'est pourquoi nous nous demandons si cette vaccination n'est pas plutôt une cure de Schok. Celle-ci d'ailleurs fut expérimentée il y a déjà longtemps par Brunings et Taptas. Ces auteurs faisaient de l'autohemothérapie mais avec peu de succès.

Il est enfin une autre théorie, l'école française l'a émise il y a quelques années. C'est la théorie sympathique de l'ozène. A première vue c'était en effet une théorie très alléchante. L'ozène serait dû à une paralysie ou à une destruction du ganglion sphéno-palatin. Cette hypothèse est basée sur plusieurs faits : chez les ozéneux on constate en règle générale de l'acrocyanose, du rétrécissement pupillaire et de la tachycardie. D'autre part, Portmann et Lemaître qui ont pratiqué la sympathectomie péricarotidienne dans des cas d'ozène ont eu de beaux résultats immédiats (qui ne durent pas, il est vrai). Mais alors nous sommes entrés dans la phase essentiellement expérimentale du problème. Sack aurait obtenu un ozène typique par extirpation du ganglion sphéno-palatin. Malheureusement les recherches de Chavanne et celles plus récentes de Moulonguet réduisent à néant l'opinion de Sack. Ces chercheurs extirpèrent le ganglion sphéno-palatin, ou bien sectionnèrent les fibres afférentes à ce ganglion et jamais ils ne purent constater de modifications de la muqueuse nasale.

Nous avons également pratiqué quelques recherches dans ce domaine. Nous savons que le ganglion sphéno-palatin innerve les cornets nasaux et aussi les glandes lacrymales, donc l'irritation de ce ganglion, comme c'est le cas dans la rhinite vasomotrice, produira du larmoiement. Dans les cas d'ozène, pour autant que ce soit une rhinite atrophique fétide par paralysie ou par destruction du ganglion de Meckel, nous ne pouvons plus avoir de sécrétion lacrymale lors d'une stimulation des voies nerveuses.

Nous avons répété cette stimulation, et chez beaucoup nous avons provoqué des larmes, chez certains cependant les yeux sont restés secs. L'argument thérapeutique a aussi sa valeur dans la solution scientifique du problème, surtout qu'à l'heure actuelle nous possédons des drogues à effet sympathicomimétique.

Dernièrement Delie présentait les résultats qu'il avait obtenus par l'administration *per os* de granules de néopancarpine. Après quinze jours d'administration ses malades sont en bonne voie de guérison.

Nous même ainsi que Leiri nous avons essayé avec succès la pilocarpine.

Mais dernièrement Guns et Coene publièrent leurs très beaux résultats avec des badigeonnages des fosses nasales au moyen de l'acétylcholine. Après eux Angelescu et Houdart publièrent des guérisons remarquables au moyen de ce produit.

De tout ceci, oublions la théorie pour n'admettre que les faits. Plus tard peut-être parviendrons-nous à les interpréter. Expérimentalement donc la destruction du ganglion sphéno-palatin ne provoque aucune modification de la muqueuse nasale et par contre les médicaments à action sympathicomimétique semblent avoir un effet curatif certain.

Certains auteurs ont aussi rattaché l'ozène à l'hérédo syphilis. Escat dans la thèse de son élève Cavalié soutient cette opinion. Costiniu de Bucarest étudiant quarante-huit cas d'ozène trouve onze cas dus à l'hérédo-syphilis. Nous devons certes admettre l'origine luétique de certains cas de rhinite atrophique fétide mais par contre la plupart des cas ne répondent pas à cette pathogénie.

Voilà où en est l'état actuel du problème. Comme nous le disions au début de notre travail on n'est pas bien loin encore. Mais cependant nous pouvons hardiment conclure que la théorie infectieuse de l'ozène n'existe pas et que par contre la médication parasympathique et ses résultats laissent entrevoir un jour nouveau sur la question.

12e Section : Hygiène

Présidents d'honneur : M. le Professeur Van Ermenghem, Secrétaire perpétuel à l'Académie de Médecine ; M. le Professeur Putzeys, Faculté de médecine de Liége.

Président : M. le Professeur Malvoz, Faculté de médecine de Liége.

Vice-Présidents : M. le Professeur Gengou, Faculté de médecine de Bruxelles ; M. le Professeur Bruynoghe, Faculté de médecine de Louvain ; M. le Professeur Rodhain, Directeur de l'Institut colonial ; M. le Professeur Bessemans, Faculté de médecine de Gand ; M. Velge, Secrétaire général honoraire au Ministère de l'Intérieur et de l'Hygiène.

Membres : M. le Professeur Renaux, Faculté de médecine de Bruxelles ; M. le Professeur Lengelez, Faculté de médecine de Bruxelles ; M. le Professeur Herman, Faculté de médecine de Bruxelles, Président de l'Académie de médecine ; M. le Docteur Timbal, Directeur général au Ministère de l'Intérieur et de l'Hygiène.

Secrétaires : M. le Professeur Vlayen, Université de Gand ; M. le Docteur Bech, Directeur du Service d'Hygiène de la Ville de Bruxelles, Assistant à l'Université.

Lundi 30 juin, à 9 h. 15, matin.

Présidence : M. Herman.

Communications :

Professeur Dubois : *Notice préliminaire sur l'action thérapeutique d'un nouveau dérivé antimonial.*

Dr Schwetz (Congo Belge) : *Les trypanosomiases animales du Congo Belge et tout spécialement de la province orientale. Etiologie, morphologie et thérapeutique.*

Dr Schwetz : *Le problème de la prophylaxie antipaludique dans les grands centres congolais en général et à Stanleyville en particulier.*

Professeur Rodhain : *Note sur l'existence en Belgique de trois représentants de trypanosomes des petits mammifères.*

Professeur Rodhain : *L'évolution du Service de l'hygiène au Congo.*

Professeur Renaux : *Les initiatives communales et provinciales, les initiatives privées en matière d'hygiène.*

Docteur Timbal : *Note sur le développement des services gouvernementaux d'Hygiène en Belgique.*

Professeur Langelez : *L'intervention de l'Etat dans l'Hygiène industrielle.*

NOTE PRÉLIMINAIRE SUR L'ACTION THÉRAPEUTIQUE D'UN NOUVEAU DÉRIVÉ ANTIMONIAL

par le Docteur A. DUBOIS.

Bien que les études sur ce produit soient encore à leur début, nous avons cru intéressant de présenter au Congrès, ces expériences préliminaires parce que, d'une part, il s'agit d'un produit nouveau synthétisé dans un laboratoire belge [1], que, d'autre part, l'activité en est assez prononcée pour justifier des essais dans la pratique coloniale.

Propriétés chimiques du composé Dn6.

On s'intéresse depuis longtemps aux composés antimoniés à cause de leur action dans un certain nombre d'affections dues à divers parasites.

On a utilisé concurremment des composés dans lesquels l'antimoine se trouvait lié par trois valences et d'autres dans lesquels il était pentavalent.

Sous ces deux formes, l'Antimoine se montre actif et l'utilisation de tels produits est souvent conditionnée en outre de leur activité, par des facteurs divers tels que la tolérance, la solubilité, etc.

Le support organique de l'Antimoine est tantôt de nature aliphatique et tantôt de nature cyclique.

Dans les derniers temps, on a préconisé un dérivé d'Antimoine d'un diphénol sulfoné.

Pour réaliser le Dn6, on s'est servi d'un noyau hétérocyclique hydroxylé.

Le Dn6 est du point de vue chimique : l'Antimonyl-bis-orthooxyquinoléine ana-sulfonate de diéthylamine.

Il contient de l'antimoine trivalent rattaché à deux noyaux quinoléiques sulfonés.

L'intérêt de ce noyau réside dans le fait qu'il s'est montré doué, dans différents cas, de propriétés thérapeutiques précieuses. En effet, il est à la base d'un antiseptique puissant, le Chinosol et d'un amoebicide efficace le Chardyl ou Yatrène.

La formule brute du Dn 6 est — $C^{26} H^{31} O^{9} N^{4} S^{2} Sb^{1}$.

(1) Laboratoires de recherches de l'Union chimique belge (Div. Prod. pharm. Meurice).

Sa formule développée probable

C_2H_5 C_2H_5 > NO_3S — N — O > Sb — OH

C_2H_5 C_2H_5 > NO_3S — O — N

Poids moléculaire : 729,22
Sb % 16,7 calculé
17,1 trouvé

Point fusion 210° environ.

Ce composé présente un certain intérêt au point de vue théorique. En effet, c'est la première fois que l'on a préparé une dérivé d'antimonyle à l'aide d'une substance cyclique ne contenant dans sa molécule, qu'un seul groupement oxhydryle.

Contrairement aux sels de potassium et de sodium, le sel de diéthylamine est excessivement soluble dans l'eau.

Placé dans le vide sulfurique, la solution aqueuse concentrée du Dn6 abandonne très lentement des cristaux de couleur jaune clair se présentant sous l'aspect d'une masse fibreuse à reflets micacés.

Ces cristaux sont très solubles dans l'eau mais insolubles dans l'alcool, l'éther, l'éther de pétrole, le benzène et les autres solvants ordinaires.

La solution aqueuse précipite très lentement par l'hydrogène sulfuré, elle précipite également par les alcalis (2).

Administration du Dn6-Toxicité-Tolérance locale.

Nous avons employé le Dn6 en solution à 5 %. Quelques essais préliminaires non collationnés ici avaient fixé la limite de la tolérance vers 200 mg. Antimoine au kilogramme. De fait, certains animaux ont supporté cette dose ou des doses voisines du produit. Il y a cependant des résultats irréguliers et nous estimons plus sûr de fixer la dose maxima vers 150 mg. Antimoine au kilogramme par la voie sous-cutanée et en choisissant des animaux adultes. Comparée à la toxicité de l'Emétique ordinaire de Potassium, la toxicité du Dn6 apparaît comme fort réduite. La dose comparable de tartre émétique, usuellement supportée par voie sous-cutanée est de 10 mg. au kilogramme correspondant à 3,6 mg. d'antimoine.

Des effets trypanocides satisfaisants ayant été notés avec le Dn6 dès 50 mg. d'antimoine au kilogramme, l'index thérapeutique apparaît comme plus favorable qu'avec l'Emétique. Avec cette substance le rapport entre la dose thérapeutique et la dose limite est au voisinage de moitié, ici on peut le fixer au tiers ou au quart. On sait, du reste, que l'émétique

(2) Communiqué par les Laboratoires de l'Union chimique belge.

est d'un maniement délicat, que son emploi entraîne facilement des incidents et parfois des accidents mortels (selon la statistique égyptienne un mort sur 50.000 individus).

Avec le Dn6, les jeunes animaux paraissent plus sensibles au médicament. Il y aura lieu de tenir compte de ce fait dans la pratique. En effet, les morts des animaux numéros 12 et 13 du tableau IV nous paraissent attribuables à l'âge et à la faiblesse relative, non à l'influence défavorable de l'infection par trypanosomes (nos animaux ayant quasi toujours été traités au début de leur infection).

Nous aurions tendance à fixer la dose thérapeutique pour les animaux, s'il s'agit de traitements courts et ne comportant pas de nombreuses injections, vers 60-80 mg. d'antimoine au kilogramme, par la voie sous-cutanée. Par la voie veineuse, il faudra réduire la dose (voir tableau I). C'est là une règle usuelle en matière de thérapeutique et pour l'émétique, en particulier, la dose maxima sous-cutanée à été fixée à 6 mg. du produit au kilogramme chez les bovidés infectés de trypanosomes [Broden et Rodhain (3)] mais cette dose n'est pas régulièrement supportée par la veine ; chez l'homme l'introduction veineuse du tartre émétique doit être progressive et prudente.

La posologie pratique ne pourra du reste être déterminée qu'après de plus nombreuses expériences. Il est possible que la pratique nous montre qu'il y a intérêt à utiliser des doses modérées répétées quelques fois plutôt que des doses massives.

Aucun essai n'a été fait jusqu'ici chez l'homme. Celui-ci est fort sensible à l'Emétique, la dose ordinaire atteinte du reste progressivement est de 100 mg. soit environ 2 mg. au kilogramme (la dose calculée en antimoine serait quasi trois fois moindre).

Doses répétées. — Divers animaux ont été traités par quelques injections consécutives à dose modérée. Ces injections sont difficiles à répéter par la voie sous-cutanée à cause des eschares ; elles entraînent une baisse appréciable de poids (voir tableau I).

Par la voie veineuse, les injections ont été répétées chez le lapin ; de nouvelles expériences sont nécessaires à ce sujet.

Tolérance locale. — Le produit paraît avoir conservé partiellement l'action irritante locale de l'antimoine. Chez le cobaye, l'injection sous-cutanée entraîne fréquemment un peu d'agitation et des cris, ultérieurement de l'induration sous-cutanée et une eschare se manifestent souvent.

Chez le rat et la souris, l'eschare est usuelle. La dilution avec de l'eau physiologique diminue la tendance nécrosante, mais est peu pratique vu la dose à injecter. L'adjonction de 1 % d'uréthane diminue la douleur, semble-t-il, mais ne supprime pas complètement la production de nécroses.

(3) *Bull. Soc. Pathologie Exotique*, 1910.

Il nous paraît difficile d'injecter le produit par la voie sous-cutanée chez l'homme : il faudra recourir à la voie veineuse.

TABLEAU I. — *Animaux non infectés.*

Nos	Poids	Dose en Sb mg. par kg.	Voie	Résultats	Remarques
	Rats :				
1	125 gr.	100, 64, 64 en 5 jours	s-cut.	Survie	Eschare, perte poids
2	150 gr.	218	—	Mort en 1 h.	Autopsie : néant
	Cobayes :				
1	720 gr.	90, 36, 36 en 5 jours	—	Survie	Eschare, baisse poids
2	635 gr.	193	—	Survie	— —
	Lapins :				
1	1.850 gr.	90	Veine	Mort en 5 h.	
2	2.300 gr.	74	—	— en 3 jours	
3	1.800 gr.	22, 47, 25, 23, 22 en 17 jours	—	Survie	
4	1.800 gr.	44, 66, 22, 22, 22 en 17 jours	—	Mort le 23e jour	Autopsie : Néant. Diarrhée. Foie, rate : pas d'antimoine.

Action thérapeutique sur la spirochétose du cobaye.

L'injection sanguine du cobaye à Spirochète hispanicum n'a pas paru modifiée dans deux cas (dose : 100 mg. et 86 mg. au kilogramme).

L'antimoine n'est du reste guère entrée dans la pratique du traitement des spirochétoses. On sait cependant que l'émétique possède une certaine action clinique sur la syphilis et le pian (4) et selon J. SCHOCKAERT (5) le Stibosan (m. chloro-p-acetylamino-phenylantimoniate de sodium) possède une action thérapeutique notable contre le Spirochète Duttoni chez la souris.

Cet auteur a, en outre, noté l'action du Stibosan à la dose d'environ 55 mg. au kilogramme sur l'infection à Spirillum minus de la souris et du cobaye (6). Le Stibenyl, produit voisin mais sans substitution chlorée, n'est pas actif.

(4) BRODEN et RODHAIN : Rapport travaux Laboratoire Léopoldville, Bruxelles, 1908
(5) SCHOCKAERT, *Comptes rendus Soc. Biologie*, 30 juin 1928.
(6) SCHOCKAERT, *Comptes rendus Soc. Biologie*, janvier 1928.

Action sur les trypanosomes.

Action in vitro. — Le Dn6 a détruit *in vitro* les trypanosomes Pecaudi (souche Tumba) aux concentrations suivantes ; à la température de laboratoire, en solution glucosée :

2,5 : 1.000 en 20 minutes
1 : 1.000 en 30 —
2,5 : 10.000 en 45 —
1 : 10.000 en 90 —
2,5 : 100.000 en 7 heures { expérience : très rares trypanosomes / témoin : très nombrenx »

L'Emétique de Potassium a agi de même dans les mêmes conditions :

2,5 : 10.000 en 30 minutes
2,5 : 100.000 en 45 —
1 : 100.000 en 90 —

La Fouadine à 1 % (cette concentration s'entendant pour le produit solide et non pour la solution commerciale) et un pour mille se montre peu toxique en 90 minutes.

Il semble qu'il existe une certaine corrélation entre la tolérance locale et le manque d'action *in vitro* sur les trypanosomes. De ces trois produits, la Fouadine a le maximum de tolérance tissulaire.

Concurremment avec cette action directe, on note que la stérilisation périphérique est rapide. Nous l'avons en quelques cas notée dans l'heure qui a suivi l'injection sous-cutanée.

Action sur l'infection expérimentale à Trypanosome congolense.

Ce Trypanosome détermine une infection redoutable chez les animaux domestiques du Congo. Le traitement en est très difficile. Seul, jusqu'à présent, le tryparosan à haute dose, pris par la bouche amène la guérison. L'arsenic et l'antimoine, par contre, n'ont qu'un effet passager. Le tryparosan, dérivé des fuchsines, est d'un emploi peu commode et coûteux. Il est donc d'un haut intérêt scientifique et économique de rechercher de nouveaux procédés thérapeutiques vis-à-vis du Trypanosome congolense.

Le tableau II, ci-dessous, résume quelques essais faits sur des animaux de laboratoire. Notre souche de Trypanosome congolense détermine chez le cobaye, une affection toujours rapidement mortelle, la survie étant de 9-11 jours après l'inoculation aux doses moyennes. Assez souvent, la mort survient par rupture de la rate. Le rat meurt rapidement aussi.

TABLEAU II.

Nos	Poids	Traitement et dose en antimoine élémet	Résultats	Remarques
Cobaye 3	700 gr.	1er 60 mg. au kg. 2e 50 mg. au kg. 2 jours consécutifs	Rechute au 6e jour Rechute au 6e jour Mort au 21e jour	
Cobaye 4	450 gr.	90 mg. au kg.	Rechute au 15e jour	Souche de rechute et résistante au Bayer 205
Cobaye 5	415 gr.	137 mg. au kg. (1 % d'uréthane)	Mort dans la journée	Rechute de l'Emétique de Pot. Peut-être la mort est-elle attribuable à l'administration antérieure de l'émétique à haute dose.
Cobaye 6	460 gr.	60 mg. au kg.	Rechute au 9e jour	
Cobaye 7	540 gr.	80 mg. au kg.	Stérile (24 jours)	Rechute du Bayer 205
Cobaye 8	335 gr.	60 mg. et 25 mg.	Rechute au 9e jour	
Rat 1	100 gr.	167 mg. au kg.	Rechute après 10 jours	
Rat 2	100 gr.	2 × 125 mg. au kg. (2 jours consécutifs)	Rechute au 10e jour	
Rat 3	170 gr.	Néant (témoin)	Mort 11 jours après l'inoculation.	

Il ressort de ces expériences que le Dn6 possède une activité réelle contre le Trypanosome congolense mais qu'il ne peut amener la stérilisation de cette infection. C'est là, du reste, un fait général avec l'antimoine et à titre d'exemple nous citons des essais faits avec l'émétique de Potassium sur la même souche :

TABLEAU III.

Nos	Poids	Dose au kg. en Emétique	Résultats	Remarques
Cobaye 9	700 gr.	5 mg. au kg en Emétique (3 jours alternatifs)	Rechute au 9e jour	Antimoine élément 36 % du poids de l'Emétique
Cobaye 10	500 gr.	10 mg. au kg. 2 jours consécutifs	Rechute au 6e jour	
Cobaye 11	480 gr.	Même traitement et dose	Rechute au 8e jour	

Comme on le voit l'Emétique ne se montre pas plus actif pour cette infection. Les dernières doses (données par voie sous-cutanée en solution un pour mille) sont cependant vers la limite de la tolérance.

C'est un fait reconnu du reste que les médicaments antimoniaux conviennent surtout aux traitements associés. Récemment des observateurs, exerçant au Congo, les médecins vétérinaires VAN DER ELST, NOCKERMAN

et MISSAL (7) ont proposé contre Trypanosome congolense, l'association de Bayer 205 plus Emétique. Des essais faits sur notre souche paraissent, en effet, intéressants. Des expériences sont en cours avec l'association Dn6 plus Bayer 205.

Mentionnons que des essais faits avec un dérivé antimonial voisin ont été interrompus. Le produit présentait une activité non douteuse mais était d'un maniement plus difficile (tolérance locale moindre, toxicité plus accentuée).

Action sur l'infection expérimentale à Tr. Pecaudi (souche Tumba).

Cette souche, originaire du Bas-Congo, est pathogène pour les animaux domestiques. Pour les animaux de laboratoire, elle est très virulente. Le cobaye présente une infection coupée parfois de crises trypanolytiques, qui conduit toujours à la mort en 15-21 jours. Quant à la souris, elle fait une infection presque comparable à celle que détermine les souches très virulentes du Nagana, la mort survenant, avec un nombre toujours croissant de parasites, en 5-6 jours depuis l'inoculation.

TABLEAU IV.

Nos	Poids	Dose en antimoine élément au kg.	Résultats	Remarques
Cobaye 12	350 gr.	95 mg.	Stérilisation Mort en 24 h.	Animal jeune et sans doute peu résistant de ce fait.
Cobaye 13	350 gr.	117 mg.	Stérilisation Mort en 24 h.	idem
Cobaye 14	330 gr.	49, 25, 25 mg. en 5 jours	Rechute au 6e jour après dernier traitement	
Cobaye 15	285 gr.	60, 30, 30 mg. en 5 jours.	Rechute au 10e jour après dernier traitement.	
Cobaye 16	460 gr.	50 mg.	Rechute au 10e jour	
Souris 1	20 gr.	160 mg.	Rechute au 8e jour	
Souris 2	20 gr.	160 mg.	Sans rechute (32 jours)	
Souris 3	20 gr.	160 mg.	Rechute au 7e jour	
		100 - 100 mg. en 3 jours	Sans rechute (22 jours)	

(7) VAN DER ELST, NOCKERMAN et MISSAL : *Bull. Agricole du Congo belge, 1929*, **10**, 3 septembre 1929.

Des essais comparatifs ont été faits avec divers antimoniaux différents sur la même souche.

TABLEAU V.

Nos	Poids		Résultats	Remarques
Souris 4	20 gr.	Fouadine : 1/100 cm³ sol. médicale	Non stérile	5 fois la dose humaine
		(8) 1/30 cm³ sol. médicale	Stérile 7 jours	15 fois la dose humaine
Souris 5	20 gr.	Néostibosan : 0.02 gr. au kg.	Non stérile	5 à 10 fois la dose humaine
		(9) 0.05 gr. au kg.	Non stérile	
		0.010 gr. au kg.	Morte	
Souris 6	20 gr.	Emétique potassium: 0.10 gr. au kg.	Mort immédiate	5 fois la dose humaine
Souris 7	20 gr.	Emétique : 0.010 gr. au kg.	Rechute au 4e jour	

Comme on le voit l'antimonial pentavalent (Néostibosan) paraît sans action même à des doses mortelles. L'émétique employé à doses très voisines de la dose-limite se montre peu actif.

La Fouadine (antimonial trivalent) montre une certaine activité, la dose à vrai dire a été 15 fois la dose utilisée en médecine humaine et correspond à environ 13 mg. antimoine au kilogramme.

Le Dn6 a montré un pouvoir stérilisant régulier. Dans un des cas du tableau IV (Souris 2), il est même possible que la guérison définitive ait été obtenue : une stérilisation de 32 jours est significative chez la souris.

Conclusions

L'étude préliminaire d'un nouveau dérivé antimonial le Dn6 ou Antimonylbis orthooxyquinoléine-ana-sulfonate de diéthylamine, aboutit aux conclusions suivantes :

1° Le Dn6 a une toxicité moindre que celle de l'Emétique : la dose-limite en injection sous-cutanée est d'environ 150 mg. au kilogramme en Sb, celle du tartre émétique vers 3-4 mg. ; la toxicité par voie veineuse

(8) Cette solution comporte 70 mg. du produit à 13,5 % antimoine par cm³. La Fouadine est l'Antimoine III-pyrocatéchine disulfonate de sodium, 1 cm³ Fouadine : 0.0085 gr. antimoine.

(9) Néostibosan (p-aminophénylstibinate de diéthylamine), contient 42 % antimoine.

paraît toutefois notablement plus forte, la limite sera probablement vers 60 mg.

La posologie exacte du médicament ne peut pas encore être déterminée avec précision : Des études pratiques et pharmacologiques complémentaires seront nécessaires. Il y aura lieu en particulier de rechercher l'élimination ou l'accumulation du produit et son action à doses répétées.

Rappelons que la cure classique d'émétique (12 fois 10 cg. pour un adulte en 15-20 jours) ne représente qu'une dose totale de 7 mg. Sb au kilogramme; la cure de Fouadine (50 cm^3 en 15 jours) également 7 mg. et la cure ordinaire de Néostibosan (8 injections de 1 cg. au kilogramme en 8 jours) 30 mg. Sb au kilogramme.

L'administration de doses notables d'antimoine à répétition doit être surveillée de près ; on sait que les anciens traitements controstimulants à l'émétique à doses réfractées, tout en arrivant à faire supporter jusque 50 cg. du médicament par jour produisaient des symptômes variés d'intoxication. Nos traitements modernes à l'émétique fatiguent du reste aussi les malades.

2° La tolérance locale du Dn6 est trop faible pour permettre chez l'homme l'introduction sous-cutanée ou musculaire.

3° Le Dn6 ne manifeste pas d'action thérapeutique contre Spirochoeta Hispanicum du cobaye.

4° Par contre, il est actif contre les trypanosomes pathogènes des mammifères. Cette activité paraît supérieure à celle de l'émétique et le quotient thérapeutique est plus favorable (un tiers). Ces faits justifient l'essai du Dn6 dans les trypanosomiases animales et même humaine. Il y a lieu de compter plutôt sur son action en combinaison avec d'autres médicaments.

5° On peut envisager aussi son essai dans les bilharzioses où les antimoniaux trivalents ont montré une notable activité.

LES TRYPANOSOMIASES ANIMALES DU CONGO BELGE ET TOUT SPÉCIALEMENT DE LA PROVINCE ORIENTALE

(Étiologie, Morphologie et Thérapeutique)

par J. SCHWETZ,

Directeur de Laboratoire au Congo belge, Agrégé à l'Université de Bruxelles.

D'août 1927 au 1er janvier 1930, une grande partie de l'activité du Laboratoire de Stanleyville était consacrée à la trypanosomiase animale, à l'examen et au réexamen des divers troupeaux et au traitement des bêtes trypanosées. Nous étions aidés dans ce travail, jusqu'à la fin de 1928, par notre assistante Mlle Geerinck. A partir de cette époque-là, la grosse besogne de la trypanosomiase animale était assurée par M. Storck, médecin vétérinaire attaché au Laboratoire.

Les trypanosomiases animales du Bas-Congo furent bien étudiées par les divers savants du Laboratoire de Léopoldville : Broden, Rodhain, Van den Branden et Van Hoof. Les trypanosomiases animales du Katanga nous sont également bien connues grâce aux études de la Mission scientifique du Katanga (Rodhain et collaborateurs), de Walravens et de Schwetz. En ce qui concerne la Province Orientale, nous avons quelques renseignements sur les trypanosomiases animales de l'Uélé, toujours grâce à l'infatigable Rodhain. Mais c'est tout. Et disons en passant que Rodhain a trouvé, sur 93 bovidés examinés dans diverses localités de l'Uélé : « Tr. dimorphon » (congolense) 11 fois et « Tr. cazalboui » (vivax) 8 fois. Il n'a par contre rien trouvé chez les moutons, ni chez les chèvres, ni chez les équidés (ânes et chevaux) examinés, il est vrai, en trop petit nombre.

Il eût été injuste de ne pas mentionner, en parlant des trypanosomiases du Congo, les travaux classiques de Dutton et Todd, ces pionniers scientifiques de la médecine et de la para-médecine du Congo Belge. En ce qui concerne les trypanosomiases animales, elles furent étudiées par les deux savants mentionnés déjà en 1907, à l'époque héroïque, peut-on dire, de la médecine tropicale. Dutton et Todd ont décrit les trypanosomiases animales trouvées par eux dans diverses parties du Congo et, entre autres, dans diverses localités de la Province Orientale dont nous nous occupons dans notre étude. Mais les grandes découvertes sont bien souvent rectifiées plus tard, du moins en ce qui concerne les détails. Si grands les savants-pionniers soient-ils, ils ne peuvent évidemment ne pas commettre, à cause

de la nouveauté et de l'abondance des sujets à étudier, certaines erreurs dans les détails. Il appartient aux générations suivantes de corriger peu à peu ces erreurs.

Les divers trypanosomes pathogènes du bétail étaient considérées par Dutton et Todd comme la seule et même espèce polymorphe, « espèce » décrite par conséquent sous le nom de « Tr. dimorphon ». Il suffit de lire les travaux des deux savants précités pour se convaincre que ces auteurs avaient en réalité affaire à plusieurs espèces de trypanosomes et en tous cas à Tr. congolense et à Tr. vivax (et probablement aussi à Tr. uniforme).

Le nom de *Tr. dimorphon* fut donc donné par Dutton et Tood à une infection mixte. Plus tard, le nom de *Tr. dimorphon* fut donné à une variété spéciale de Tr. congolense et encore plus tard, il devint peu à peu synonyme de Tr. congolense. D'où une grande confusion dans laquelle il n'est pas si facile de se débrouiller.

Abstraction faite de quelques rares équidés et de quelques rares animaux sauvages (gibier), nous avons eu à faire à trois groupes d'animaux domestiques : *aux bovidés, aux ovidés* et *aux suidés.*

Nous ne nous occuperons pas ici longuement de l'aspect étiologique, ou épizootologique, de nos diverses trypanosomiases. Cet aspect de la question est en l'occurrence si compliqué et si obscur qu'il mérite une investigation spéciale bien approfondie. Dans l'Uélé, la *Gl. palpalis* est quasi ubiquiste (aux cours d'eau) et la *Gl. fusca* y existe également. Dans toute la vaste forêt qui sépare le Kivu de Stanleyville, il existe trois espèces de glossines : *Gl. palpalis*, *Gl. fusca* et *Gl. tabaniformis.* On s'explique donc facilement des trypanosomiases animales de l'Uélé et celles des bêtes venant d'arriver à Stanleyville : soit de l'Uélé, soit du Kivu. Mais nous avons trouvé la trypanosomiase, et même des trypanosomiases, chez des bovidés se trouvant déjà à Stanleyville depuis plusieurs années. Nous avons même trouvé des trypanosomes chez des veaux nés à Stanleyville, c'est-à-dire, dans les fermes environnantes. Or, si nous avons capturé dans les environs de Stanleyville toutes les trois espèces de glossines qui existent dans cette région : *Gl. palpalis*, *Gl. fusca* et *Gl. tabaniformis*, toutes ces tsé-tsé sont si rares dans les environs de la ville et même autour des quelques fermes qu'il est vraiment difficile de leur attribuer les vraies poussées épizootiques de trypanosomiase observées dans quelques fermes. Sans entrer ici dans de longues considérations, nous nous voyons obligés d'expliquer ces poussées par l'intervention des insectes hématophages, autres que les Glossines, dont le rôle consisterait à transmettre mécaniquement l'infection introduite, ou plutôt transmise, précédemment par les tsé-tsé.

Pour beaucoup de raisons, nous ne nous occuperons pas ici des trypanosomes trouvés par nous chez les suidés, quoique ces derniers fussent examinés par nous au nombre de plusieurs centaines.

Nous nous bornerons à dire que le trypanosome habituel des porcs du Congo est *Tr. congolense.* Mais dans plusieurs troupeaux de porcs de Stanleyville et de l'Uélé, nous avons trouvé un trypanosome spécial, extrêmement pathogène, que nous avons décrit ailleurs, dans une étude spéciale, mais dont la spécifité n'est pas encore bien établie.

Quant aux autres animaux, voici le tableau du nombre de bêtes examinées par espèces d'animal et le nombre de bêtes trouvées trypanosomées.

	Nombre d'examinés	*Nombre de trypanosomés*
Bovidés		
Stanleyville	887	356
Uélé	846	62
	1733	418
Ovidés		
Stanleyville	303	64
Uélé	178	7
	481	71
Capridés		
	149	2
Chevaux		
	34	4
Eléphants (domestiques)		
	80	0
Gibiers (divers)		
	39	4

Abstraction faite des suidés dont nous ne nous occupons pas dans cette étude, nous avons trouvé chez les divers animaux domestiques de Stanleyville et de l'Uélé, quatre espèces de trypanosomes pathogènes :

1° *Tr. congolense* (bovidés, ovidés et équidés) ;
2° *Tr. vivax* (bovidés et ovidés) ;
3° *Tr. uniforme* (bovidés et, peut-être, ovidés) ;
4° *Tr. Brucci* (ovidés et, peut-être, bovidés).

Nous avons, en outre, trouvé chez quelques bovidés, *Tr. Theileri.*

Chez les quelques rares bêtes sauvages examinées, nous avons trouvé : Tr. congolense, Tr. Theileri et Tr. tragelaphi (?).

Tr. congolense et *Tr. vivax* sont des espèces bien connues et bien communes. Leur présence au Congo belge a été maintes fois signalées par plusieurs auteurs.

Je dois insister sur la diversité des formes ou des variétés de *Tr. congolense.* J'ai rarement trouvé à Stanleyville les petites formes trapues typiques. Au contraire, j'ai presque toujours eu à faire à des formes longues et minces et, bien souvent, avec un moignon de flagelle libre. C'est évidemment cette diversité morphologique de *Tr. congolense* qui est l'origine de la diversité des noms synonymes : *Tr. pecorum, Tr. nanum* et *Tr. dimorphon.*

En ce qui concerne *Tr. vivax,* on sait également que ce trypanosome, si typique soit-il, n'est pas absolument monomorphe. Il s'agit dans la plupart des cas d'un trypanosome à l'extrémité postérieure arrondie et à blépharoplaste terminal. Mais quelquefois on trouve des « variétés » à extrémité postérieure amincie et à blépharoplaste sub-terminal. Dans ces cas, le trypanosome est, en général, plus mince et plus long. Je ne donne pas ici les mensurations en microns qui sont trop connues. Les écarts sont d'ailleurs trop grands pour donner des moyennes. C'est évidemment cette diversité morphologique du même trypanosome qui est l'origine des divers noms synonymes de *Tr. vivax : Tr. cazalboui, Tr. caprae* et *Tr. angolense.*

Tr. uniforme n'a pas encore été signalé au Congo belge.

Ce trypanosome, décrit par Bruce et collaborateurs dans l'Est Africain, fut signalé ensuite dans les mêmes régions par divers autres auteurs. Curson signale, en passant, sa présence chez les bovidés du Zululand.

Mais qu'est-ce exactement que *Tr. uniforme* ? En somme, la réponse à cette question est très simple : *Tr. uniforme est un petit Tr. vivax.* Mais la seule différence de taille est-elle suffisante pour créer une espèce spéciale ? *Tr. congolense* comprend, suivant les cas, des trypanosomes longs et minces, ou courts et trapus, et pourtant tout le monde est d'accord à présent que dans tous ces cas il s'agit de la même espèce. Pourquoi alors donner un nom spécial à une petite variété de *Tr. vivax* ?

Quoi qu'il en soit, il n'est pas toujours si facile de distinguer Tr. uniforme de Tr. vivax. D'ailleurs uniquement d'après la morphologie il est parfois même difficile de se prononcer, si l'on a affaire à *Tr. uniforme* ou à *Tr. congolense*, du moins à la grande variété de ce dernier trypanosome.

Cela pour les deux groupes pathogènes les plus importants : Groupe congolense et groupe vivax. *Tr. Brucei* a beaucoup moins d'importance n'ayant été vu que plusieurs fois chez les ovidés, soit en infection pure, soit associé à Tr. vivax. Nous ne sommes pas sûr d'avoir vu Tr. Brucei chez les bovidés.

En résumé et abstraction faite des suidés dont nous ne nous occupons pas dans cette étude et dont nous avons décrit une trypanosomiase spéciale, nous avons trouvé chez les animaux domestiques de Stanleyville, animaux

provenant du Kivu, du Ruanda, de l'Ituri et de l'Uélé, les trypanosomes suivants :

A. *Chez les bovidés :*
1° Tr. congolense ;
2° Tr. vivax ;
3° Tr. uniforme ;
4° Tr. Brucei ;
5° Tr. Theileri.

B. *Chez les ovidés :*
1° Tr. congolense ;
2° Tr. vivax ;
3° Tr. uniforme ;
4° Tr. Brucei.

C. *Chez les équidés :*
1° Tr. congolense.
et en outre :

D. *Chez les gibier* (matériel insuffisant):
1° Tr. congolense ;
2° Tr. Theileri ;
3° Tr. tragelaphi.

C'est Tr. congolense qui est l'espèce la plus commune et pourtant la plus importante. Viennent ensuite, par ordre de fréquence et d'importance, *Tr. uniforme* (chez les bovidés) et *Tr. vivax* (chez les ovidés). *Tr. Brucei* n'a été trouvé que chez quelques ovidés, seul ou associé à *Tr. vivax.* Nous ne sommes pas sûr d'avoir vu *Tr. Brucei* chez les bovidés.

Dans la majorité des cas, il s'agissait d'une infection mixte : à *Tr. congolense* et à *Tr. vivax*, circonstance qui rendait parfois bien difficile la détermination exacte de nos trypanosomes. C'est cette fréquence de l'infection mixte qui est la cause de la description de tous ces trypanosomes sous le nom de Tr. « dimorphon », par Dutton et Todd, et de la confusion qui a longtemps régné dans la littérature. D'autre part, la détermination morphologique exacte de tous ces trypanosomes n'est pas toujours bien aisée, et non seulement dans les infections mixtes.

Le Tr. congolense typique de Broden est plutôt extrêmement rare dans la Province Orientale et surtout à Stanleyville. Ici, il s'agit en général d'un Tr. congolense moins typique, c'est-à-dire de la forme mince et longue avec, parfois, un petit bout de flagelle libre.

Le vrai *Tr. vivax* a été trouvé souvent chez les ovidés, mais bien rarement chez les bovidés. Chez ces derniers, il s'agissait le plus souvent d'un « petit Tr. vivax », c'est-à-dire de Tr. uniforme.

Parfois il était d'ailleurs difficile de dire s'il s'agissait de *Tr. vivax* ou de *Tr. uniforme* ; soit parce que les trypanosomes trouvés étaient de taille intermédiaire, soit parce qu'il y en avait de taille différente. Et si dans le deuxième cas, on pouvait admettre une infection mixte à *Tr. vivax* et à *Tr. uniforme*, la détermination restait douteuse dans le premier cas. Les essais de transmission à d'autres animaux ne pouvaient en l'occurrence être

d'aucune utilité, la pathogénicité de ces deux trypanosomes étant la même. S'agit-il maintenant de deux espèces différentes ou Tr. vivax et Tr. uniforme ne sont-ils que deux variétés de la même espèce, de même que les grandes et les petites formes de Tr. congolense ? Ce ne sont que de longues observations et nouvelles recherches qui pourront trancher cette question, plus théorique d'ailleurs que pratique.

Les grandes formes de Tr. congolense, d'une part, et la présence de Tr. uniforme, d'autre part, étaient la cause de ce que parfois nous doutions même si nous avions affaire au « *groupe vivax* » ou au « *groupe congolense* ». C'était surtout le cas quand les trypanosomes étaient très rares dans les frottis et que la plupart des parasites étaient en division, par dessus le marché.

Dans les cas d'infection mixte, c'était en général *Tr. vivax* qui dominait et qui masquait par sa quantité les rares Tr. congolense. Mais quelques jours après une injection d'émétique, on voyait apparaître (ou plutôt réapparaître) les Tr. congolense, tandis que les Tr. vivax (ou uniforme) restaient invisibles.

Les quelques essais de transmission aux divers animaux, que nous avons essayés aussi bien pour déterminer dans les cas douteux nos trypanosomes que pour séparer les diverses espèces dans les infections mixtes, nous ont donné des résultats négatifs et bien curieux.

A part une exception, les cobayes se sont montrés réfractaires à nos diverses souches de *Tr. congolense.* Tandis que l'on trouvait des trypanosomes quelques jours après la transmission chez le mouton et même chez le porc, les cobayes restaient négatifs. Les quelques essais de transmission de Tr. vivax (resp. Tr. uniforme) restèrent complètement négatifs : ou les moutons s'infectaient de Tr. congolense dans les infections mixtes, ou ils restaient négatifs, dans les cas d'infection pure à Tr. vivax. Et pourtant Tr. vivax fut trouvé si souvent en infection naturelle chez d'autres moutons!

D'où il résulte — ce qui est d'ailleurs connu — qu'à côté de l'espèce, ou de la variété morphologique, le *souche* joue également un grand rôle dans la pathogénicité des trypanosomes.

Thérapeutique

On sait depuis longtemps que contrairement à ce qui se passe dans la trypanosomiase humaine, c'est-à-dire avec *Tr. gambiense*, les arsenicaux n'ont aucune influence spécifique dans les trypanosomiases animales à *Tr. vivax* ou à *Tr. congolense.* On sait également que l'émétique par contre est un fort trypanocide dans les deux principales trypanosomiases pathogènes africaines : à *Tr. congolense* et à *Tr. vivax.* Mais tandis que l'efficacité de l'émétique contre Tr. vivax est, pour ainsi dire, universellement admise, il n'en est pas de même en ce qui concerne les infections à *Tr. congolense.* C'est-à-dire qu'une injection d'une quantité suffisante d'émétique « tue » également les Tr. congolense ou du moins en débarrasse la circulation sanguine périphérique, mais les trypanosomes reviennent. De sorte qu'il

faut faire une série d'injections. Et tandis que, d'après les uns, un traitement suivi à l'émétique, traitement prolongé et répété, finit par guérir définitivement la bête malade, d'après les autres, l'émétique n'évite pas les rechutes. En d'autres termes, si, pour les uns, l'émétique est presque un spécifique également contre Tr. congolense, pour les autres, il n'est qu'un pis-aller, le moins mauvais de tous les autres traitements expérimentés.

Quoi qu'il en soit, de même que l'on emploie l'atoxyl (ou la tryparsamide) dans le traitement routinier de la trypanosomiase humaine, de même on emploie l'émétique dans le traitement routinier de la trypanosomiase animale, aussi bien dans celle à Tr. vivax que dans celle à Tr. congolense.

Tout cela est si bien connu que nous trouvons inutile de citer des exemples et des preuves dans la littérature assez vaste à ce sujet.

Comme adjuvant à l'émétique, on emploie bien souvent — et nous le faisions également — l'atoxyl, mais non pas comme spécifique, mais comme un simple fortifiant, pour neutraliser, pour ainsi dire, l'effet affaiblissant de l'émétique.

De tous les nombreux nouveaux médicaments expérimentés dans les diverses trypanosomiases animales, sans grand succès, deux ont retenu l'attention et ont même conservé une plus ou moins grande vogue.

Ce sont le 205 Bayer (resp. 309 Fourneau), c'est-à-dire le *Naganol* (resp. Moranyl) et le *Tryparosan.*

Nous ne nous arrêterons pas sur la vaste littérature du Naganol et nous nous bornerons à signaler le fait connu que le résultat des expériences avec le Naganol dans les trypanosomiases animales fut plutôt décevant : son effet est nul contre Tr. vivax et temporaire, ou momentané, contre Tr. congolense.

Alors, on eut recours au traitement mixte : Naganol-émétique. Sans citer les diverses et nombreuses expériences parfois un peu contradictoires, il semble quand même en résulter que l'action combinée d'émétique et de Naganol est plus efficace que celle de chacun de ces deux produits employés l'un sans l'autre. La plus grande efficacité d'un traitement mixte, d'une association de divers médicaments, est d'ailleurs logique et compréhensible.

Mais disons de suite qu'entre efficacité, ou action élective et guérison, il y a une marge. Il ne suffit pas de faire disparaître les trypanosomes de la circulation périphérique : il s'agit de guérir l'animal, c'est-à-dire d'empêcher la réapparition des trypanosomes, ou les rechutes. Or, ce ne sont que des observations bien prolongées, des examens variés et répétés et enfin le sort ultérieur de l'animal qui peuvent nous renseigner sur l'efficacité réelle du médicament employé. N'oublions pas que dans la trypanosomiase humaine les malades non guéris meurent parfois « stérilisés », sans trypanosome dans la circulation périphérique. Il est évident qu'il en est de même dans la trypanosomiase animale.

Le Tryparosan fut expérimenté dans les diverses trypanosomiases animales par Rodhain, Van den Branden et Van Hoof, au Laboratoire de Léopoldville. Ce produit se serait montré efficace aussi bien dans les infections

à Tr. vivax que dans celles à Tr. congolense. Van Hoof dit même « avoir pu stériliser le sang périphérique d'un animal, définitivement, et en quarante-huit heures », par le Tryparosan.

Ce sont donc les trois produits principaux énumérés plus haut, l'*émétique*, le *Naganol* et le *tryparosan*, que nous avons expérimentés.

Expérimenté n'est, peut-être, pas l'expression adéquate. Chez nous, il ne s'agissait pas d'expérimenter de nouveaux médicaments sur des bêtes du Laboratoire, mais de tâcher de guérir les bêtes trypanosomées par des produits déjà expérimentés et trouvés efficaces. Mais le résultat est en somme le même, puisque nous avons pu constater le résultat du traitement par les divers produits. L'avantage de notre expérimentation résidait dans le grand nombre de bovidés traités. Il ne s'agissait pas d'un animal, ni même de cinq, par exemple, traités au Laboratoire et renvoyés ensuite. Notre expérimentation s'étend sur plusieurs centaines de bovidés dont nous avons pu suivre le sort pendant près de deux ans, du moins chez ceux qui n'étaient pas morts entretemps malgré le traitement.

Disons également quelques mots de notre mode de diagnostic et de contrôle. Dans une étude précédente, j'avais insisté sur le fait qu'un seul examen d'un frottis étalé ne suffit pas pour déceler la présence des trypanosomes, quand ces derniers sont rares, ce qui est fréquemment le cas dans les infections chroniques à Tr. congolense. L'examen d'une goutte de sang à frais donne un meilleur résultat qu'un simple frottis, mais l'examen d'une goutte épaisse, et surtout de plusieurs, est encore moins incertain. D'autre part, l'examen du sang à frais ou d'une goutte épaisse ne nous renseigne pas bien sur l'espèce de trypanosome trouvé. Nous avions par conséquent recours chaque fois, aussi bien avant le traitement qu'après, simultanément au triple mode d'examen : à frais, en goutte épaisse et en frottis étalé. Et même ces précautions n'arrivaient pas à éviter toute erreur. Il nous arrivait quand même de trouver des trypanosomes chez une bête trouvée stérile un ou deux jours auparavant. Ce qui veut dire que rien n'est absolu.

Il serait trop long d'exposer ici les diverses cures auxquelles nous soumîmes les bêtes trypanosées de nos divers troupeaux. Les détails de nos expériences thérapeutiques, expériences qui ont duré plus de deux années, furent exposées dans une étude spéciale. Ici, nous nous bornerons au résumé du résultat de ces expériences.

Et il résulte de nos nombreuses observations-expériences prolongées que :

1° Le *Naganol* n'a presque aucune action sur Tr. congolense ni sur Tr. vivax, resp. Tr. uniforme ;

2° Le *Tryparosan* stérilise le sang périphérique des bêtes trypanosées aussi bien à Tr. congolense qu'à Tr. vivax (resp. Tr. uniforme). Mais cette stérilisation n'est que de courte durée : de quelques jours à quelques semaines. Les rechutes sont la règle ;

3° Quant à l'*Emétique*, la question est beaucoup plus compliquée. Ce produit est certainement beaucoup plus efficace que le tryparosan (nous

faisons abstraction du Naganol), mais son efficacité est également assez relative. L'émétique est surtout efficace contre Tr. vivax (resp. Tr. uniforme) et il arrive vraiment à débarrasser la circulation périphérique de ce trypanosome, si... la bête infectée ne meurt pas entretemps. Mais l'efficacité de l'émétique est beaucoup moindre et surtout beaucoup moins prolongée quand il s'agit de Tr. congolense.

Mais son efficacité dépend de beaucoup de facteurs pratiques dont la plupart n'ont rien à voir avec le traitement lui-même. C'est ainsi que le résultat de notre thérapeutique était différent suivant les troupeaux. C'est que les deux facteurs principaux de la résistance animale à l'infection trypanosomique et partant de l'efficacité du traitement sont : la *résistance naturelle* (la race) et la *nourriture*.

La résistance *raciale* joue certainement un très grand rôle. Sur les trois races de bovidés auxquels nous avions à faire, les *Lugwaret* (petites bêtes à bosse et originaires de l'Est de l'Uélé) sont certes les plus résistantes. Viennent ensuite les bêtes « Ituri ». Par contre, les bêtes du Kivu-Ruanda (grandes bêtes minces, hautes sur pattes et avec de très grandes cornes) sont très peu résistantes, du moins transplantées dans la basse région humide de l'Equateur.

Il est inutile d'insister sur l'importance de la bonne nourriture comme moyen adjuvant au traitement médicamenteux.

L'état général des bêtes et le degré de leur infection jouent évidemment un très grand rôle dans l'efficacité ou dans la non-efficacité du traitement. Il est inutile de vouloir traiter une bête très affaiblie ou dont le sang grouille de trypanosomes. Dans ce cas, une injection d'un gramme d'émétique ne fait que donner le coup de grâce.

Le système du traitement a également une grande importance. L'émétique est surtout efficace en doses massives (un gramme) et répétées plusieurs jours de suite. Mais dans la pratique vétérinaire courante, ce système n'est pas toujours réalisable, d'autant plus que tout un gramme d'émétique n'est pas toujours supportable, et nous avons eu un bon nombre de décès le jour même ou le lendemain d'une injection d'un gramme d'émétique, surtout de la première injection. Et puis, un traitement très intensif, ou massif, ne peut toujours être recommencé sans inconvénients ni même danger. Or, les trypanosomes réapparaissent tôt ou tard. Il faut donc individualiser dans chaque cas.

Le système le plus pratique est le suivant : Commencer par un traitement de 4 ou 5 injections d'émétique (0.50 — 0.75 ou 1 gr., suivant la taille et l'état des bêtes) aussi rapprochées que possible. Intercaler plusieurs injections d'atoxyl (3, 4 ou 5 grammes) et puis voir. Si les trypanosomes reviennent (et c'est malheureusement le plus souvent le cas) recommencer un nouveau traitement plus espacé : une injection tous les huit ou même tous les quinze jours. Quand il s'agit de bêtes résistantes et bien nourries on arrive, si non pas à les guérir, du moins à les maintenir dans un état d'infection chronique. Mais pour cela il ne faut pas se borner à réexaminer et à

traiter les anciennes bêtes malades : il faut examiner toutes les bêtes du même troupeau, parce que, entre-temps, on peut avoir de nouvelles infections. Et si l'examen microscopique ne décèle pas de trypanosomes, cela ne veut pas encore dire que la bête en question est indemne : les infections chroniques à Tr. congolense sont simultanément tenaces et fugaces, de sorte que le résultat de l'examen microscopique est variable d'un jour à l'autre.

On voit donc que la question n'est pas si simple. Et je ne parle pas ici de la différence de la virulence de deux souches du même trypanosome, différence qui explique les résultats contradictoires obtenus par le même traitement dans divers troupeaux infectés par la même espèce de trypanosomes.

Nous dirons en résumé que le seul traitement pratique de la trypanosomiase animale, aussi bien à Tr. vivax (Tr. uniforme) qu'à Tr. congolense, reste toujours l'émétique, traitement le plus simple, le plus pratique, le moins cher et le plus efficace. Le Naganol n'est pas efficace et coûte trop cher ; le tryparosan est moins efficace que l'émétique et d'une manipulation trop compliquée ! Mais même l'émétique ne donne qu'un résultat inconstant et passager dans les infections à Tr. congolense.

L'émétique est enfin plus efficace quand il est associé à l'atoxyl ou au Naganol (traitement mixte).

BIBLIOGRAPHIE

A. *Morphologie.*

J. Dutton, Y. Todd and A. Kinghorn, *Cattle trypanosomiasis in the Congo free state (Annals of tropical medicine and Parasitology*, juin 1907).

D. Bruce, A. Hamerton, H. Bateman, F. Nockie and Lady Bruce, *Tr. uniforme, sp. nov.* (Reports of the sleeping sickness commission of the Royal Society, n° 11, London, 1911).

J. Rodhain, *Note sur les trypanoses et les piroplasmoses des grands animaux de l'Uélé (Bulletin de la Société de Pathologie exotique*, février 1916).

H. Curson, *Nagana in Zululand* (13th and 14th Reports of the Director of Veterinary Research. Union of S. Africa, Pretoria, 1928).

J. Schwetz, *Sur un cas d'une infection intense d'un bovidé à Tr. Theileri (Annales de parasitologie humaine et comparée*, mars 1930).

Traités

Laveran et Mesnil, *Trypanosomes et Trypanosomiases ;* Paris, 1912.

P. Knuth and P. J. du Toit, *Tropen Krankheiten der Haustiere ;* Leipzig, 1921.

C. M. Wenyon, *Protozoology ;* London, 1926.

B. *Thérapeutique*

H. H. Curson, *Nagana in Zululand* (13th and 14th Reports of the Director of veterinary Education and Research ; Pretoria, October 1928).

U. F. Richardson, *Notes on trypanosomiasis of cattle in Uganda* (Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, August 1928).

Ll. E. W. Bevan, *A method of inoculating cattle against Trypanosomiasis* (Ibidem).

J. Schwetz, *Notes sur les trypanosomiases animales du Haut-Katanga* (*Annales de la Société belge de Médecine tropicale*, novembre 1927).

L. Van Hoof, *Thérapeutique de la maladie du sommeil et des trypanosomiases animales africaines* (Primeriro congresso de Médecine tropical da Africa Occidental ; Fascicule IV, n° 4, août 1923.

J. Schwetz, *Notes sur les trypanosomiases animales de Stanleyville* (*Bulletin agricole du Congo belge*, décembre 1928).

LE PROBLÈME DE LA PROPHYLAXIE ANTIPALUDIQUE DANS LES GRANDS CENTRES CONGOLAIS EN GÉNÉRAL ET À STANLEYVILLE EN PARTICULIER

par le Dr SCHWETZ.

Les grands principes du paludisme et les grands moyens antipaludiques, médicamenteux et mécaniques, étant connus, le problème de la prophylaxie antimalarienne est surtout une question d'ordre local et pratique, nécessitant toutefois préalablement une étude théorique compétente et approfondie. Sans cela on s'expose à consacrer — sans grand résultat — beaucoup d'efforts et beaucoup d'argent.

Il faut, en d'autres termes, individualiser dans chaque cas.

Il faut avant tout connaître les *Anopheles* transmetteurs de malaria dans la localité en question et bien étudier leurs divers gîtes, ces derniers étant différents suivant les différentes espèces de moustiques.

Au Congo, le transmetteur principal du paludisme est *An. gambiae* (*An. costalis*) dont les larves s'adaptent plus ou moins à toutes espèces d'eau stagnante, mais préfèrent les gîtes naturels, gîtes, malheureusement, les plus difficiles à supprimer. Suivant les régions et les localités, d'autres Anopheles jouent également un certain rôle au Congo, comme transmetteurs de la malaria. Ce sont : *An. funestus* (plus ou moins partout) et *An. marshalli var. moucheti* et *An. nili* (à Stanleyville). Ces trois espèces nécessitent des gîtes uniquement naturels, au bord immédiat de l'eau claire et courante.

En pratiquant donc uniquement les petites mesures antilarvaires habituelles, on n'arrivera à supprimer qu'une partie des gîtes d'*An. costalis* et aucun gîte des trois autres espèces. En d'autres termes, ce ne sont que de grands travaux, très coûteux et de très longue haleine, qui peuvent arriver à supprimer tous les gîtes des divers Anopheles. Or, ces travaux ne peuvent évidemment être exécutés que dans certaines grandes agglomérations, et encore. Partout ailleurs, et même dans les grands centres choisis, en attendant le résultat ultérieur des grands travaux, il faut par conséquent avoir recours à des moyens moins radicaux et plus éclectiques.

Et parallèlement à des mesures d'hygiène générale et à des mesures anti-larvaires réalisables, suivant un programme établi après une étude locale et préalable, il ne faut pas négliger la *quinine préventive* qui reste et qui restera encore pendant bien longtemps un excellent moyen antipaludique, moyen certes pas absolu, mais moins difficilement réalisable que les autres.

NOTE SUR L'EXISTENCE EN BELGIQUE DE TROIS REPRÉSENTANTS DE TRYPANOSOMES DE PETITS MAMMIFÈRES

par le Docteur J. RODHAIN,
Directeur de l'Ecole de Médecine tropicale

Parmi les Trypanosomes *non pathogènes* de petits mammifères figurent, à côté du Trypanosome Lewisi dont l'extension mondiale est bien reconnue, une série d'autres formes qui n'ont été signalées qu'en certaines régions du globe.

Cela tient, sans doute, à ce que les hôtes du premier ainsi que ses agents vecteurs ont, eux-mêmes, une extension très générale tandis que les espèces animales parasitées par les seconds, ont une ère de dispersion plus limitée. A cette raison, s'ajoute aussi celle, que les mammifères infectés par ces hématozoaires sont plus difficiles à capturer et que leurs trypanosomes n'ont pu faire l'objet de recherches suffisantes.

C'est notamment le cas des trypanosomes des chauves-souris, des taupes et des musaraignes, toutes espèces insectivores chez lesquelles des trypanosomes ont été constatés parmi des représentants de la faune européenne et qui, jusqu'à présent, à ma connaissance du moins, n'ont pas été signalés en Belgique.

Nous avons eu, au cours de ces dernières années, l'occasion de rencontrer des Trypanosomes chez une chauve-souris, une taupe et une musaraigne capturées au Parc Duden, à Forest. L'identification de ces flagellés fait l'objet de la présente note.

I. — Trypanosomes de la chauve-souris (*Eptesicus serotinus*)

Sur deux chauves-souris *Eptesicus serotinus* examinées, le sang de l'une renfermait des trypanosomes assez nombreux. L'animal avait été trouvé souffrant dans le Parc Duden par une journée ensoleillée de mai.

Dionisi [1], le premier, en 1899, a signalé en Italie l'existence d'un trypanosome chez une chauve-souris insectivore, le *Miniopterus Schreibersii* et, Battaglia, en 1909, a décrit sous le nom de *Trypanosoma vespertilionis*, le parasite découvert dans le sang de *Vesperugo noctula*.

C'est à cette espèce que doivent être identifiés tous les trypanosomes signalés depuis chez différentes chauves-souris d'Europe par Pétrie [2] et Coles en Angleterre, Kiskalt [3] en Allemagne, Bettencourt et França [4] au Portugal. Le même parasite est répandu en Afrique du Nord

(1) Dionisi, *Att. d. Soc. p. g. Studi della Malaria*, **1**, (1899), 145.
(2) G. Pétrie, *Journal of Hygiene*, **5**, 191-200, (1905).
(3) Kiskalt, *Centralbl. f. Bakter.*, I, Originale, **40**, 213-217, (1905).
(4) A. Bettencourt et C. França, *Soc. Biol.*, 14 octobre 1905, et *Arch. de l'Inst R. de Bactériologie Camara Pestana*, **1**, fasc. 1.

où il fut signalé par les frères SERGENT chez deux espèces de chauves-souris : *Myotis murinus*, Schreber et *Verpertilio Kuhli, Natter* ([5]). Il fut retrouvé plus récemment par CHATTON et COURRIER ([6]) en Basse-Alsace chez *Vesperugo pipistrellus* et ces derniers auteurs découvrirent le processus spécial de multiplication du Trypanosome qui le rapproche singulièrement de *Trypanosoma Cruzi*.

Quoique les auteurs français aient créé pour l'hemoflagellé qu'ils ont observé un nom nouveau, il faut admettre avec Wenyon qu'il s'agit bien de *Trypanosoma vespertilionis* qui apparaît ainsi comme un parasite fort répandu en Europe et en Afrique du Nord. Ce trypanosome infeste différentes espèces de chauves-souris : *Vesperugo Kuhli, Vesperugo pipistrellus, Vespertilio natula, Vespertilio Natterei, Vesperugo serotinus, Myolis murinus, pipistrellus*. Son mode de transmission exact reste à établir.

Le trypanosome a une physionomie assez caractéristique qui, ainsi que l'ont fait remarquer LAVERAN et MESNIL ([7]) le fait ressembler aux formes flagellées du *Trypanosoma Cruzi* et rend son identification assez facile. Il est souvent arqué sur une de ses faces, possède un centrosome volumineux, une membrane ondulante étroite et une extrémité flagellaire libre, le noyau est placé dans le tiers antérieur du corps. Les dimensions sont relativement petites et vont de 13 à 21 μ.

Nous reportons à *Trypanosoma vespertilionis Battaglia*, le parasite observé par nous chez la chauve-souris capturée dans le Parc Duden.

II. — TRYPANOSOME DE LA MUSARAIGNE (*Crocidura aranea*)

Deux espèces de Trypanosomes ont été décrites chez des musaraignes. La première, *Trypanosama Soricis* Hadwen rencontrée dans le sang de *Sorex Vagrans* Baird à Mount Lehman (Canada), est un parasite plutôt petit et trapu ne mesurant que 17 μ de long et présentant une membrane ondulante bien développée, une partie flagellaire libre très courte ([8]). La seconde, décrite par BRUMPT en 1923, sous le nom de *Trypanosoma Crocidurae* du sang de *Crocidura russulus* de France ([9]).

La morphologie de *Trypanosome crocidurae* est du type Lewisi, il diffère de ce dernier parasite surtout par ses dimensions. Il ne s'est d'ailleurs pas montré infectant pour le rat ni la souris.

Nous avons eu l'occasion d'examiner le sang de quatre musaraignes : Crocidura aranea capturées dans les caves de l'Ecole de Médecine tropicale au Parc Duden en 1928 et 1929. Trois de celles-ci étaient de très jeunes animaux, la quatrième était adulte. Seul le sang de cette dernière était parasité. Il contenait de rares trypanosomes présentant à frais des mouvements extrêmement vifs rappelant ceux du Trypanosome du rat. Dans les

([5]) ET. et ED. SERGENT, *Société de Biologie*, 14 janvier 1905.

([6]) CHATTON et COURRIER, *Un schizotrypanum chez les chauves-couris. Schizotrypanose et goître endémique.* (*C. R. Soc. Biol.*, **34**, 1367 [1922]).

([7]) LAVERAN et MESNIL, *Trypanosomes et Trypanosomiases*, 1912.

([8]) LAVERAN et MESNIL, *Trypanosomes et Trypanosomiases*, 1912.

([9]) BRUMPT, *Annales de Parasitologie*, **1**, 1923.

frottis de sang coloré, la morphologie est semblable à celle de Trypanosome crocidurae (Brumpt) avec lequel nous l'identifions.

L'inoculation de quelques gouttes de sang prélevé au cœur de la musaraigne infestée à un jeune rat et à une souris resta sans résultat. Afin de dépister éventuellement une infection latente, le rat fut splénectomisé huit jours après l'injection, mais son sang ne montra pas, dans la suite, de trypanosomes. Cette tentative confirme le résultat obtenu par le professeur Brumpt.

III. — Trypanosome de la taupe (Talpae europaea)

Un trypanosome fut découvert chez une taupe par Gros [10] en 1845 ; il fut revu par Petrie [11] en 1905 et décrit par Thomson [12] en 1906 chez *Talpae europaea* provenant de la région d'Estrée en Angleterre. França [13] a signalé chez des taupes du Portugal, *Talpa caeca* et *Talpa europaea*, des trypanosomes un peu plus courts que ceux décrits par Thomson.

Laveran et Marullaz [14] ont observé le parasite chez des taupes en France et le premier de ces deux auteurs en collaboration avec Franchini [15] a trouvé chez des puces (*Palaeopsylla gracilis*) capturées sur les insectivores, des formes diverses de trypanosomides se rattachant vraisemblablement au cycle évolutif de *Trypanosoma talpae*. Ce parasite à l'instar de *Trypanosoma Lewisi* paraît être transmis par les puces.

Plus tard, en 1918, Delanae [16] a rencontré *Trypanosoma talpae* chez des taupes dans la région de Châlons-sur-Marne.

Depuis l'installation de l'Ecole de Médecine tropicale dans les locaux du Château Duden, chaque année, on a l'occasion d'examiner le sang de deux ou trois taupes, *Talpae europaea* capturées sur les pelouses du parc.

Les résultats furent uniformément négatifs jusqu'au début du printemps de cette année où un Trypanosome fut trouvé dans le sang d'une taupe capturée encore dans le parc même.

Les parasites étaient fort rares et à frais montraient des mouvements extrêmement vifs. Dans les frottis, les formes que j'ai pu retrouver avaient la morphologie du *Trypanosoma talpae*. Injecté à une souris et à un jeune rat, le sang de la taupe n'infecte pas ces animaux de trypanosomes.

Cet essai vient en confirmation de ceux de Thomson et de Laveran qui n'ont pas réussi à transmettre *Tryponosama talpae* à d'autres animaux.

(10) Gros, cité par Thomson.

(11) Petrie, *Journal of Hygiène*, avril 1905, 193.

(12) I. D. Thomson, *Journal of Hygiene*, oct. 1906, 574.

(13) França, C. *Arch. Inst. Bac. Camara Pestana*, **3**, 3, 1911.

(14) Laveran et Marullaz, *Au sujet de Trypanosoma talpae* (*C. R. Soc. Biol.*, 1007-1008 [1913]).

(15) A Laveran et G. Franchini, *Trypanosoma talpae chez Palaeopsylla gracilis* (*Soc. Biol.*, 1254-1256 [1913]).

(16) P. Delanae, *Au sujet de Trypanosoma talpae-Nabarro* (*Bull. Soc. Pathol. exot.*, 453-454, octobre 1921).

L'ÉVOLUTION DE L'ORGANISATION DU SERVICE DE L'HYGIÈNE AU CONGO

par le Docteur J. RODHAIN,

Directeur de l'Ecole de Médecine tropicale

Si l'on examine l'évolution du Service de l'Hygiène du Congo belge depuis le début de la Fondation de l'Etat indépendant jusqu'à nos jours, on peut y distinguer quatre étapes successives.

La première correspondant à la période des explorations et des conquêtes et s'étendant de 1879 à 1903 ; la deuxième allant de 1903 à fin 1908, époque de la reprise de la Colonie par la Belgique ; la troisième comprenant la période de 1909 jusqu'au début de la guerre et la fin de celle-ci ; la quatrième enfin s'étendant depuis 1919 jusqu'à nos jours.

Première étape. — Aux premières expéditions organisées par le roi Léopold II en vue de la création de son empire colonial étaient attachés des médecins chargés de veiller à la santé des membres des diverses missions. Ils firent d'ailleurs souvent tous les métiers et il est sans doute permis de rappeler ici le souvenir des tout premiers : le Belge Van den Heuvel, adjoint en 1879 à l'expédition Popelin et le docteur L. Wolf, allemand, attaché à l'expédition von Wissmann dont il assuma le commandement dès septembre 1885.

L'Etat indépendant fut fondé le 17 juillet 1885, mais le territoire immense dont le roi devenait le souverain ne fut occupé effectivement qu'au prix d'expéditions militaires importantes auxquelles furent adjoints des médecins.

Leurs fonctions étaient, au début du moins, avant tout militaires et leur grade assimilé jusqu'à une certaine hiérarchie à ceux des officiers (commandant).

Le premier document relatif à l'organisation médicale du nouvel Etat ne parut qu'en 1888. C'est un décret royal créant deux classes de médecins : médecins de deuxième classe assimilés au grade de lieutenant et médecins de première classe assimilés au grade de capitaine de la Force Publique [1].

De la même année et de la suivante datent également les premiers textes législatifs ayant trait à l'hygiène et qui concernent les maladies contagieuses et la police sanitaire maritime et lacustre. (Ordonnance du

[1] Les médecins militaires de carrière pouvaient accéder au grade supérieur de commandant, les médecins civils ne pouvaient dépasser le grade de capitaine.

22 août 1888, approuvée par décret du 20 octobre 1888 sur les maladies contagieuses et ordonnance du 6 octobre 1889 sur la police sanitaire et maritime.)

Concurremment avec ces décrets et ordonnances fut instituée l'Association congolaise et africaine de la Croix-Rouge dont le but était la création d'hôpitaux permanents. Le premier hôpital fut installé à Boma dès 1889, le deuxième à Léopoldville en 1897, après l'achèvement du chemin de fer. En 1897, il n'y avait encore, pour tout le territoire occupé, que huit médecins.

Au fur et à mesure que s'organise l'occupation effective du territoire qui est divisé en districts, le nombre de médecins augmente sans que pourtant l'organisation médicale même ne soit modifiée.

Les médecins sont placés sous les ordres des autorités militaires ou civiles, commissaires de districts ou commandants de camp ; le médecin résidant à Boma est le conseiller technique du Gouverneur général.

Aucune donnée précise qui pourrait nous donner une idée d'ensemble de la situation sanitaire générale du pays n'existe. Les premières tentatives pour améliorer l'hygiène du pays sont dirigées contre la variole et en 1895 paraît un décret rendant la vaccination jénérienne obligatoire.

La préoccupation du Gouvernement de remédier à certaines situations locales défectueuses sous le rapport de l'hygiène ressort également de l'ordonnance du Gouverneur général du 24 avril 1899 prévoyant la création de Commissions d'hygiène qui, en cas de maladies contagieuses épidémiques, pourraient édicter des mesures nécessaires pour enrayer leur extension.

En 1903, on comptait pour 215 postes et stations occupés par 1272 Européens, 25 médecins.

Deuxième étape : 1903 à 1908. — Quoique durant cette période l'organisation médicale en elle-même ne fut point changée, il se fait une évolution manifeste dans les esprits des Gouvernants alarmés par les progrès de la maladie du sommeil.

Dès 1900, fonctionnait à Léopoldville un laboratoire de recherches mais l'institution, quoique aidée par le Gouvernement, avait été créée par l'initiative privée et dépendait de la Société belge d'Etudes coloniales dont le général baron Donny était le Président. Le Roi avait personnellement subsidié la mission anglaise conduite par Dutton et que l'Ecole de médecine tropicale de Liverpool avait envoyé en Afrique au début de 1903. Il avait accordé les plus grandes facilités pour le transport et le travail de l'expédition à laquelle il avait fait attacher le docteur Heiberg, médecin de l'Etat indépendant.

A la suite du rapport de la mission anglaise, il décida la création de l'Ecole de médecine tropicale à Bruxelles et consentit à ce qu'un médecin de l'Etat indépendant fût adjoint au Directeur du laboratoire de Léopoldville. C'est ainsi qu'au début de 1907, je pris la direction de l'Hôpital des

Noirs de Léopoldville et devins le collaborateur, en Afrique, de mon regretté ami, le docteur Broden.

Les progrès sur l'étiologie, le diagnostic et la thérapeutique de la léthargie africaine réalisés de 1905 à 1906, firent élaborer un règlement visant à combattre l'extension du fléau. L'étendue même de ce dernier dans la Colonie était loin d'être exactement connue et il n'est pas étonnant que les premières dispositions qui prescrivaient d'isoler tous les malades dans les lazarets se heurtèrent à une situation qui rendait leur application matériellement impossible.

Au fur et à mesure que s'accumulaient les données précises sur la fréquence du mal, il apparut de plus en plus nettement, que pour le combattre il fallait avant tout une augmentation considérable du personnel médical. Les choses en étaient là lorsqu'eut lieu en 1908 la reprise de la Colonie par la Belgique.

L'effectif médical comptait à ce moment 30 médecins et un pharmacien.

Troisième étape : 1908 à 1914. — Dès qu'il fut éclairé sur la situation, le ministre Renkin décida l'augmentation des effectifs médicaux ainsi que la création d'une direction du Service de l'Hygiène.

La nouvelle organisation comprenait un médecin en chef assisté de médecins inspecteurs à rôle itinérant ; les services médicaux des districts étaient dirigés par des médecins, chefs de services, des médecins de première et deuxième classe occupant les postes secondaires.

L'effectif médical s'accrut rapidement, il était de 59 en 1910 et de 81 en 1914 au moment de la déclaration de guerre. La lutte contre la maladie du sommeil avait été entreprise avec énergie et, sans le conflit mondial qui en vint brutalement arrêter le développement, aurait reçu toute l'ampleur que comportait la gravité de la situation.

Cette première réorganisation du service médical restait entachée d'un grand défaut, d'assujettir les médecins résidant à l'intérieur, à l'autorité directe des autorités territoriales.

L'augmentation des effectifs médicaux permit néanmoins de recueillir un faisceau de données éclairant sur la situation sanitaire générale du pays dominée par la fréquence de la trypanosomiase humaine.

Dès la reprise de la colonie par la Belgique, le laboratoire de Léopoldville devint un organisme d'Etat, le personnel en fut renforcé, le nombre d'adjoints porté à deux. A la fin de 1910, une mission scientifique fut envoyée au Katanga dont le développement économique s'annonçait comme imminent, afin d'y étudier le problème de la trypanosomiase qui par la présence abondante de la *glossina morsitans* y présentait un aspect particulier.

Vint la guerre qui paralysa durant quatre longues années les efforts qui avaient été si courageusement entrepris. Elle mobilisa la plus grande partie des médecins qui prirent une part honorable aux campagnes d'Afrique.

Durant cette troisième étape, le Gouverneur général éclairé par le

Directeur du Service de l'Hygiène promulgua une série importante de textes législatifs armant les pouvoirs publics en vue de la lutte contre les maladies transmissibles.

Successivement toutes les maladies à trypanosomes, la méningite cérébro-spinale épidémique, la grippe, la polyomyélite antérieure aiguë furent réputées maladies contagieuses épidémiques de manière à ce que les dispositions du décret de 1888 puissent être appliquées pour leur prophylaxie.

En outre, par l'ordonnance du 24 octobre 1917, l'obligation de la déclaration des affections dites pestilentielles, peste, choléra et fièvre jaune fut considérablement étendue, les responsabilités précises rendant l'exécution des mesures prophylactiques plus aisées et plus efficaces. D'autre part, l'ordonnance du 12 janvier 1916 modifia la composition des Commissions d'Hygiène de manière à rendre possible leur institution dans tout centre désigné par les Commissaires de districts. Les attributions des membres faisant partie de ces Commissions furent déterminées et les pouvoirs d'Officier de police judiciaire leur furent conférés.

Pour la première fois (ordonnance du Gouverneur général du 1er août 1912), nous voyons apparaître dans la législation un texte visant à combattre la prolifération des moustiques dans les agglomérations habitées par les Européens, en vue surtout de combattre la malaria. La même ordonnance prévoit la collection et l'enlèvement des gadoues.

La maladie du sommeil fit l'objet d'une ordonnance spéciale (8 septembre 1910), mettant en vigueur un règlement coordonnant les mesures prises pour enrayer la trypanosomiase humaine. Ce document était à l'époque le plus complet existant sur la matière. L'hygiène des travailleurs fut considérée dans une ordonnance parue le 20 novembre 1911.

Enfin, en 1915 (20 septembre) parut un texte sur la police sanitaire des animaux domestiques spécifiant les maladies contagieuses épizootiques et prévoyant les dispositions à prendre pour enrayer leur extension.

Quatrième étape : 1919 jusqu'à nos jours. — A l'armistice, il n'y avait plus dans la colonie que 39 médecins et l'essor commercial intense que subit rapidement le territoire devait donner à cette pénurie de personnel médical une acuité angoissante.

Les difficultés du début furent peu à peu surmontées et, en 1922, grâce au concours agissant du Gouverneur général Lippens, l'autonomie réclamée depuis longtemps fut accordée au Service de l'Hygiène.

Sous l'organisation actuelle, le médecin en chef, directeur du Service de l'Hygiène dépend du Gouverneur général ; dans chaque province un médecin provincial relevant du Gouverneur de la province assume la direction des divers services médicaux du territoire. Les services comprennent une section de laboratoire, une section d'hygiène et une section d'assistance médicale. En 1923 fut organisé un service de pharmacie.

Le cadre spécial d'auxiliaires médicaux européens créé en 1917 fut considérablement élargi et comprenait, dès 1919, des infirmières.

Afin d'augmenter le rendement du personnel européen et de faire participer les indigènes à l'œuvre d'assainissement du pays qui les intéresse directement, la direction de l'Hygiène intensifia la formation des aides médicaux autochtones et fit instituer dans chaque chef-lieu provincial près des grands hôpitaux une école pour assistants médicaux indigènes.

Ces écoles, dont l'organisation fut difficile et n'est pas terminée entièrement, formaient des auxiliaires médicaux de deux catégories dont les uns sont de simples infirmiers et les autres des assistants médicaux indigènes destinés à remplacer un jour les auxiliaires européens. Elles marquent le début de l'évolution des institutions d'éducation médicale dans la colonie.

Je ne crois pas indiqué ici de m'étendre sur l'organisation même des différentes formations sanitaires que comporte le service de l'assistance médicale indigène proprement dit. Ce serait sortir du cadre de l'objet que je me suis proposé de traiter. Mais, je ne puis omettre de mentionner qu'à côté de l'organisation médicale gouvernementale proprement dite, fonctionnent en parfait accord avec lui et partiellement du moins sous sa dépendance, de nombreux postes médicaux dirigés par les missionnaires chrétiens. Certains de ces postes médicaux constituent des formations sanitaires complètes ayant à leur tête un médecin assisté par des aides européens ou indigènes, d'autres plus modestes sont de simples dispensaires ou infirmeries dont les dirigeants ont reçu une préparation analogue aux auxiliaires européens réguliers.

A côté de ce service d'assistance médicale appelé *bénévole*, il me faut signaler le concours important que prête la Croix-Rouge du Congo, section de la Croix-Rouge de Belgique à l'œuvre d'assainissement de la colonie. Elle occupe actuellement médicalement tout le territoire de Wamba, dans le Haut Ituri, y compris Pawa où elle a organisé une expérience de prophylaxie antilépreuse dont les résultats auront une haute portée éducative.

A Léopoldville fonctionne sous son égide un dispensaire antivénérien dont le succès semble assuré dès à présent.

De son côté, l'Université catholique de Louvain a créé à Kisantu une importante organisation sanitaire comprenant un laboratoire de recherches, une installation hospitalière très complète et une école pour infirmiers indigènes.

Les grandes sociétés, l'Union Minière, la Forminière, les Huileries du Congo belge, les Mines d'Or de Kilo-Moto possèdent une organisation médicale complète qui étend l'assistance médicale aux indigènes non travailleurs.

Il convient spécialement de signaler que la Forminière a assuré l'assistance médicale, y compris la lutte contre la maladie du sommeil dans une vaste région du Kasaï et que la Société des Mines d'Or a organisé des dispensaires en vue de venir en aide aux indigènes des régions minières que ses services occupent.

En outre, la colonie doit à une souscription généreuse organisée par M. le Ministre et Mme Lippens, un bâteau-hôpital dont les premières croisières ont donné des résultats fort intéressants.

Enfin, la Ligue pour la Protection de l'Enfance noire au Congo belge fondée par feue M[me] L. Van den Perre s'est efforcée, dès 1913, de créer des consultations pour nourrissons dont certaines ont pris une belle extension. L'Œuvre nationale de l'Enfance est, de son côté, intervenue pour venir en aide à l'éducation hygiénique des mères noires.

L'ensemble de ces organisations médicales traduit un grand effort qui, certes, exige un plus grand développement encore mais tel quel fait honneur à la Belgique.

L'organisation que je viens d'esquisser vise avant tout l'assistance médicale mais celle-ci, au Congo, se confond en très grande partie avec l'œuvre de l'hygiène et en est en tout cas inséparable.

Il est certain que si nous parvenions à généraliser à tous les territoires de la Colonie, l'assistance médicale, l'assainissement du pays ferait au point de vue indigène du moins, des progrès extrêmement rapides.

La situation sanitaire générale des indigènes est dominée par un ensemble de maladies contre la plupart desquelles nous avons d'excellentes armes thérapeutiques. La trypanosomiase, le pian, la syphilis, les dysenteries, les helminthiases dont souffrent les indigènes sont curables et le traitement de tous les individus atteints permettrait d'attendre le temps nécessaire à l'exécution de mesures prophylactiques d'ordre hygiénique proprement dit et à l'éducation des masses ignorantes qui seules peuvent assurer le succès durable de l'œuvre d'assainissement du pays.

La meilleure organisation des services et le renforcement du cadre du personnel qui lentement progresse, a renseigné d'une manière plus précise sur les causes prépondérantes de la mortalité générale. Je dis sur les causes dominantes de la mortalité générale, car sur celle-ci même, nous ne possédons pas d'indications précises et nous ne pourrons en obtenir d'ici longtemps encore parce que l'état-civil chez les indigènes de l'intérieur ne peut être tenu régulièrement.

C'est la connaissance de mortalités quelquefois élevées qui ont sévi parmi les effectifs de travailleurs industriels ou agricoles et l'analyse attentive de leurs causes qui a déterminé le gouvernement à édicter une série de mesures visant l'hygiène et la sécurité des travailleurs. La principale législation date d'après guerre et son application, si elle n'a pas porté remède absolu à certaines situations défavorables, a du moins diminué grandement leur gravité. (Décret du 15 juin 1921 sur l'hygiène et la sécurité des travailleurs.)

Dans un autre domaine, la lutte contre les maladies épidémiques a fait des progrès constants. Non seulement la lutte contre la maladie du sommeil a été étendue mais la prophylaxie contre le pian et la syphilis a été menée avec activité.

Le décret du 12 avril 1923 : Mesures contre les maladies vénériennes, a permis au Gouverneur général d'*obliger* les personnes contaminées à recourir à l'intervention d'un médecin et à suivre le traitement jusqu'à guérison complète. L'ordonnance du 11 mai 1929 a imposé les mêmes obligations aux personnes atteintes de pian.

Le danger de l'extension de la tuberculose a été dûment reconnu et des efforts réels sont tentés pour la diminuer.

Le décret du 20 janvier 1921 et l'ordonnance du Gouverneur général du 7 août de la même année ont rendu la déclaration de la tuberculose obligatoire, imposé l'observation de mesures prophylactiques et permettent dans certains cas l'isolement des tuberculeux dans les établissements hospitaliers.

L'ancien décret d'octobre 1888 sur les maladies contagieuses épidémiques et épizooties a été remplacé par un texte d'une portée générale plus étendue. Il accorde au Gouverneur général le pouvoir de régler efficacement la prophylaxie de toutes les affections transmissibles. (Décret du 19 juillet 1926 sur l'Hygiène et la Salubrité publiques.)

Ce décret a permis de remanier heureusement divers textes concernant l'hygiène notamment celui sur la police sanitaire de la navigation et sur l'hygiène publique dans les agglomérations (Ordonnance du Gouverneur général sur la police sanitaire de la navigation 6 mars 1929 et ordonnance du 4 juin 1929 sur l'hygiène publique dans les agglomérations).

Le cadre sanitaire de la colonie n'est sans doute pas parfait mais il n'a pas toujours dépendu des dirigeants d'Afrique qu'il ne fût mieux adapté aux nécessités locales. L'examen impartial de l'évolution du service médical de la colonie depuis la fin de la guerre montre un effort tenace, persévérant, inspiré par un haut idéal humanitaire et civilisateur et un sens aigu des réalisations possibles.

Les dirigeants n'ont pas perdu de vue que la section spécialisée de l'hygiène publique n'a pu jusqu'ici recevoir tout le développement désirable. Les progrès ont, pour des raisons d'opportunité, dû être sacrifiés à ceux de l'assistance médicale indigène. Ce sont ces considérations qui expliquent que la lutte contre le paludisme et aussi contre la lèpre n'ont pu recevoir l'extension que la situation réclame. Peut-être le Fonds Médical qui vient d'être voté par les Chambres permettra-t-il d'entamer la solution de ces grands problèmes.

La section des laboratoires, au contraire, a subi un développement dont nous pouvons tirer quelque légitime fierté. Le premier institut de recherches fut créé, je l'ai déjà dit, à Léopoldville en 1899 par la Société d'études coloniales. Le docteur E. Van Campenhout en fut l'organisateur. En 1900, A. Broden en devint le directeur et le resta jusqu'en 1912. Je lui succédai de 1913 à 1921, année où F. Vandenbranden prit, à son tour, la direction.

Dès la fin de 1912, j'avais préconisé la création d'un laboratoire de bactériologie à Elisabethville, mais l'Institut ne put être créé qu'en 1920. Dans la suite, un laboratoire fut organisé dans la Province Orientale à Stanleyville et un autre à Coquilhatville dans la Province de l'Equateur.

Les territoires sous mandat, eux aussi, ont obtenu un laboratoire.

Cette organisation qui dote chaque province d'un Institut de recherches et de diagnostic, témoigne de la clairvoyance du Gouvernement qui a compris la haute utilité pratique des laboratoires.

Du plus ancien d'entre eux sont sortis des travaux qui ont assuré à l'Institut de Léopolville une réputation mondiale.

En dehors de la découverte faite par A. Broden, en 1902, du *Trypanosoma congolense*, agent actif d'une infection peut-être la plus fréquente des trypanosomiases en Afrique centrale, le laboratoire de Léopoldville a publié une série de travaux sur le diagnostic et le traitement de la trypanosomiase humaine qui actuellement encore gardent toute leur importance.

Qu'il me soit permis de rappeler les principes établis pour l'examen systématique du liquide encéphalo-rachidien dans l'appréciation du stade de la maladie avant le traitement et des progrès thérapeutiques au cours de la cure ; ainsi que l'introduction de l'émétique en injections endo-veineuses, thérapeutique qui dans la suite trouva des applications fécondes en résultats dans les leishmanioses, les helminthiases et les ulcérations granulomateuses.

La réputation de l'Institut fit que lorsque l'Institut Rockefeller, en 1922, voulut faire essayer par l'un de ses membres, Mlle L. Pearce, la valeur d'un nouvel arsenical, c'est au laboratoire de Léopoldville qu'il l'envoya.

Les laboratoires plus jeunes ont marché dignement sur les traces de leurs aînés. Celui d'Elisabethville, sous l'habile direction du docteur Walravens, élève de Denys et Bruynoghe, publie depuis dix ans des travaux de valeur reconnue. Celui de Stanleyville a récemment, avec le docteur Schwetz comme directeur, montré une activité scientifique remarquable. Ceux de Kitega et de Coquilhatville enfin, ont débuté fort bien aussi leur carrière.

Mais il n'est pas que ceux qui ont eu la chance de travailler dans les laboratoires qui ont apporté des contributions intéressantes à nos connaissances sur les affections qui sévissent dans la colonie et les causes qui les régissent ou les insectes qui les transmettent.

Les publications nombreuses qui émanent chaque année de médecins et aussi d'auxiliaires du Service de l'Hygiène témoignent d'une émulation qu'il m'est un agréable devoir de signaler ici.

Si tous les travaux n'ont pas la même valeur, ils dénotent pourtant un effort consciencieux et un désir de recherches qui fait le plus grand honneur à notre corps médical colonial.

Au 30 juin de cette année, il y avait pour toute la colonie, le Ruanda Urundi y compris, 154 médecins au service du Gouvernement, 123 agents sanitaires dont 96 hommes et 15 femmes, 6 infirmières laïques hors cadres et 113 infirmières religieuses.

A ce personnel, il faut ajouter appartenant au service médical auxiliaire bénévole, 11 médecins attachés aux missions catholiques, 2 à la Fomulac, plus 38 médecins des missions protestantes.

Il y avait, en outre, 104 praticiens privés presque tous au service de grandes sociétés et dont un certain nombre consacre une part de leur activité à l'assistance médicale indigène.

Cette augmentation des effectifs médicaux et de leurs auxiliaires traduit bien l'intensification progressive de l'action médicale qui a suivi l'essor considérable qu'a pris notre domaine colonial après la guerre.

Elle fait ressortir lumineusement l'effort civilisateur que développe la Belgique en Afrique tropicale.

LES INITIATIVES COMMUNALES ET PROVINCIALES, LES INITIATIVES PRIVÉES EN MATIÈRE D'HYGIÈNE

par le Dr Ernest RENAUX

Professeur à l'Université de Bruxelles

L'Hygiène, si on se reporte à la définition du dictionnaire, est une « *partie de la Médecine qui a pour but de faire connaître les influences diverses qui proviennent des milieux dans lesquels l'homme évolue et de les modifier dans le sens le plus favorable à son développement* ».

Cette définition reste vraie pour le grand public ; c'est d'ailleurs presque exclusivement aux futurs médecins que, dans notre pays, on enseigne systématiquement l'hygiène et c'est pourquoi on développe spécialement les notions relevant des sciences médicales et on néglige parfois les autres disciplines auxquelles elle doit sans cesse faire appel.

En réalité, c'est presque un truisme de poser en fait que l'hygiène n'est pas une science, et pourtant il est peu de domaines où les améliorations sont aussi régulièrement conditionnées par les progrès scientifiques. Mais la variété des connaissances nécessaires à l'hygiéniste est très grande : il devrait être à la fois médecin, ingénieur, architecte, légiste ; si la prescription de mesures d'ordre médical lui est plus spécialement familière, il doit tout au moins être capable d'apprécier et de critiquer un plan d'habitation privée ou d'établissement public, de prévoir les objections d'ordre juridique que pourrait soulever un projet de réglementation, etc. ; car si certaines décisions qui lui incombent sont exclusivement médicales, d'autres, et ce sont les plus nombreuses, trouvent dans des sciences variées leur justification et les possibilités de leur mise en œuvre.

Comme dans toutes les sciences appliquées, les découvertes qui ont bénéficié en hygiène de la plus large diffusion sont presque toujours l'aboutissement de recherches qui ne visaient dans leur principe aucune application déterminée. Il est très habituel de constater que les savants qui les ont mises au point, s'ils en ont saisi la portée, ne les ont pas en général introduites dans la pratique : à côté des expérimentateurs et des chercheurs, il y a des hommes qui ont le génie de la réalisation concrète des résultats que d'autres ont acquis au laboratoire. C'est à eux qu'il faut souvent attribuer les initiatives des pouvoirs publics : ce sont eux qui conçoivent les nécessités nouvelles et qui cherchent dès lors l'appui d'administrations soucieuses de l'intérêt public. Selon l'administration à laquelle ils appartiennent ou avec laquelle ils ont pu entrer en contact, l'initiative sera dès lors communale, provinciale ou gouvernementale ; mais

il se peut aussi que l'idée généreuse soit reprise par un organisme n'ayant d'autre mandat que celui qu'il s'est spontanément donné. C'est de là que sortirent les œuvres privées dont nous dirons quelques mots en raison du rôle important que remplissent dans notre vie sociale certaines d'entre elles.

Les mesures que l'on prend dans le domaine de l'hygiène sont provoquées par deux groupes principaux de circonstances : le plus souvent, il s'agit d'une véritable évolution où tout s'enchaîne : une décision antérieure en appelle une autre qui la complète ; les résultats d'une prescription montrent la possibilité d'améliorer dans le même domaine ou de prendre une mesure analogue dans un département différent ; ou bien encore, des nécessités immédiates, parfois même la poussée de l'opinion publique de plus en plus éclairée obligent à prendre des déterminations qui sans cela eussent été différées bien longtemps. Mais il arrive aussi que la cause déterminante soit autre : à l'occasion d'une découverte scientifique, de nouveaux espoirs sont permis : une maladie endémique peut être efficacement combattue ; un diagnostic jadis difficile et incertain peut être posé dorénavant de façon exacte très rapidement ; ou bien encore on acquiert la possibilité de prévenir des épidémies toujours menaçantes. Tout cela dominé, en dernière analyse, par cette notion relativement récente que les pouvoirs publics ont le devoir d'assurer le mieux-être de la collectivité, que ce soit là l'expression d'un sentiment de solidarité ou, ce qui est malheureusement souvent le cas, que l'origine doive être recherchée dans un intérêt électoral plus ou moins avoué. Mais en fait qu'importe le mobile si le résultat est atteint ?

Ces quelques considérations sont vraies qu'il s'agisse du rôle de l'Etat que mes confrères Timbal et Langelez exposeront devant vous ou que l'on considère le rôle des communes et des provinces dont je vais avoir l'honneur de vous parler. Nous avons cru utile de les placer en tête de la première de ces trois conférences.

* * *

Je n'envisagerai pas ici les interventions communales et provinciales qui furent la conséquence d'instructions ou de directives données par le pouvoir central. Au surplus, il est certain que je ne pourrais dans le cadre restreint de cette causerie exposer toutes les mesures d'hygiène prises par les provinces et les communes. Mais je m'efforcerai de mettre en lumière celles dont la justification scientifique est la plus évidente, ce qui nous importe particulièrement ici. Il est manifeste d'autre part qu'il faut limiter l'étude en ce qui concerne les communes aux grandes agglomérations urbaines, les seules qui disposent de moyens matériels leur permettant de faire œuvre utile. Là où la population est faible, les ressources sont minimes. On a vu parfois, cependant, des communes peu importantes apporter une collaboration proportionnée à leurs moyens en faisant de la propagande par affiches et conférences et en soutenant de leurs maigres deniers des consultations d'enfants et des œuvres similaires. Leur mérite est d'autant plus réel que leurs possibilités étaient plus limitées.

Il est bien difficile actuellement de nous représenter ce qu'était une de nos grandes villes belges il y a soixante ou soixante-dix ans : les modifications successives sont considérables mais leur progressivité même fait que nous ne les apercevons que si nous nous reportons à de nombreuses années en arrière. On n'imagine plus guère la somme de travail, l'intelligence, la ténacité et la persévérance qu'il a fallu pour réaliser cette évolution car ce qui nous paraît actuellement tout naturel fut discuté, entravé par l'inertie, l'ignorance ou les intérêts particuliers. Le travail porte surtout dans les premières années sur ce qu'on peut appeler l'aménagement des villes. A l'ingénieur, on pose des questions multiples et complexes dont la solution exige des études laborieuses et ne peut entrer dans la voie des réalisations qu'en vertu des progrès acquis dans de nombreuses branches des sciences d'application : on établit des égouts, on voûte des rivières, on aménage des quartiers anciens, on crée des quartiers nouveaux, on règlemente la construction des édifices publics et des habitations privées. Mais, en même temps apparaît la nécessité de travaux pour lesquels il faut recourir en outre à des disciplines se rattachant aux sciences médicales et spécialement à la bactériologie : approvisionnement en eau potable, éventuellement épuration, élimination et destruction des matières usées, épuration des eaux d'égouts, etc... Toutes nos grandes villes ont été aux prises avec ces problèmes difficiles et parfois angoissants. Elles devaient en trouver la solution sous peine de déchoir ; jalouses des prérogatives que leur confère le principe de l'autonomie communale, elles voulaient arriver au but sans y être contraintes par l'intervention impérative de l'autorité supérieure.

N'oublions pas le coûteux problème de l'assistance publique qui, cessant de se confiner à l'attribution de secours et à la création d'hôpitaux et hospices, devait bientôt amener les administrations responsables à assurer à leurs indigents malades une convalescence dans une institution appropriée et à leurs enfants débiles le bénéfice de conditions climatériques et alimentaires plus favorables.

Beaucoup de mesures prises sont antérieures à l'ère pastorienne ; mais celle-ci représente pourtant le point de départ des progrès les plus considérables en hygiène : la microbiologie permit de comprendre et d'appliquer judicieusement des décisions que l'empirisme avait déjà consacrées ; elle permit de trouver surtout de multiples applications nouvelles et d'éviter les tâtonnements qui étaient de règle par le passé. Il y a, au surplus, une date qui marque dans le développement de l'hygiène des communes : c'est quand elles sortirent de leur particularisme et songèrent à s'associer, à unir leurs efforts et leurs ressources pour créer des organismes intercommunaux qui leur permettraient des réalisations dont, isolées, elles étaient incapables. Une des premières « Intercommunales » fut créée en 1891 pour alimenter en eau potable les communes de l'agglomération bruxelloise. Son statut légal ne fut cependant établi définitivement qu'en 1907 (loi du 18 août 1907), ce qui montre les difficultés absurdes auxquelles pouvait se heurter un organisme dont le seul but était d'assurer

à ses adhérents, les communes suburbaines de Bruxelles, des conditions d'hygiène plus favorables.

Par la suite, d'autres organismes intercommunaux apparurent ; nous en retiendrons deux comme spécialement intéressants en ce qui nous concerne : le premier est l'hôpital antivénérien créé pendant la guerre. Son activité fut grandement favorisée par trois découvertes scientifiques qui dataient alors de quelques années et dont le retentissement fut énorme. Ce sont : la découverte du *Treponema Pallidum*, agent étiologique de la syphilis et la technique de sa recherche dans les lésions suspectes au moyen de l'ultra-microscope ; la découverte de la réaction de fixation de Bordet et Gengou dont Wassermann réalisait l'application au diagnostic de la syphilis ; enfin la découverte de la chimiothérapie de la syphilis par les arsénobenzols qui permettaient de lutter efficacement par un « blanchissement » rapide contre la dispersion, l'essaimage d'une maladie devenue, pendant la guerre, un véritable fléau social.

Ces trois découvertes permettaient d'escompter que par une action collective énergique et persévérante, on pourrait sinon supprimer l'endémie syphilitique, au moins circonscrire ses ravages. (Le traitement de la blennorhagie ne fut pas non plus négligé.) On peut être assuré que si une seule des trois découvertes ci-dessus avait fait défaut, l'action de l'hôpital intercommunal antivénérien aurait été singulièrement limitée et beaucoup moins efficace. Les résultats obtenus furent d'ailleurs si satisfaisants que, lorsque sa liquidation fut décidée, on constitua, pour lui succéder et continuer son œuvre, le dispensaire intercommunal antivénérien.

Le deuxième organisme dont je voudrais dire quelques mots est le Laboratoire intercommunal de chimie et de bactériologie. Il a pour mission essentielle le contrôle des denrées alimentaires et fut outillé pour exercer son action dans ce domaine avec toute la rigueur et toute la précision désirables. Son activité porta plus particulièrement au début sur la qualité du lait et, dans ce domaine spécialement, les résultats obtenus furent remarquables. Mais en fait son action fut peut-être moins scientifique qu'on ne l'avait espéré lors de la création, et ceci n'est pas un reproche : il est constant que, dans la plupart des cas, ce sont les mesures simples, élémentaires, d'application facile et dont le contrôle est aisé qui donnent les meilleurs effets. Aussi, les contrôles de propreté du lait organisés systématiquement par le Laboratoire intercommunal eurent en réalité plus de succès que les contrôles scientifiques sévères et méthodiques qu'il avait établis corrélativement. Organisme de surveillance de l'hygiène alimentaire, le laboratoire intercommunal représente un des éléments nécessaires à la protection de la santé publique.

Les difficultés d'application des mesures d'hygiène amenèrent les grandes communes à s'assurer la collaboration de personnalités du monde médical spécialisées dans cette branche : Liége, il y a près de cent ans, sollicitait les conseils de la Société d'Hygiène et de Salubrité publiques. Mais, surtout, elles s'attachèrent des médecins chargés de surveiller la

santé de leurs administrés aux différents âges et dans les diverses professions insalubres : les médecins scolaires notamment jouent dans l'hygiène de l'enfance un rôle extrêmement important : la surveillance des établissements industriels dangereux est faite actuellement plus particulièrement par l'Etat ; les médecins du service de la prostitution ont des fonctions d'autant plus utiles à l'heure actuelle que les moyens de lutter contre les maladies vénériennes sont devenus plus actifs, etc. Mais il était nécessaire de coordonner tous ces efforts car si certains domaines à inspecter sont bien séparés, d'autres ont des points de contact parfois nombreux. C'est pour parer à ces inconvénients que les grandes villes chargèrent un médecin de diriger l'ensemble de leurs services d'hygiène.

Que ce soit à l'intervention de ces hygiénistes ou, parfois, au fait que la première magistrature communale était elle-même entre les mains d'un médecin, on constata bientôt d'heureuses initiatives dans le but d'améliorer la prophylaxie des maladies transmissibles. Une des plus récentes est la vaccination antidiphtérique au moyen de l'anatoxine inventée par Ramon. L'Etat devait au surplus et vers la même époque tenter la même intervention dans un cadre beaucoup plus large.

Parmi les mesures prises dans de grandes villes en application des découvertes de la médecine expérimentale, je citerai encore à titre d'exemple la surveillance des enfants qui ont fait une maladie contagieuse, surveillance qui a pour but d'empêcher la rentrée à l'école de tout enfant porteur de germes et pouvant donc constituer une source de dissémination de maladie. Sans compter l'activité des services de désinfection dont l'intervention est si bien entrée dans les mœurs qu'elle est fréquemment demandée par les particuliers eux-mêmes, il faut noter le service de dépistage des causes initiales de la maladie et notamment le contrôle de l'approvisionnement en eau potable.

A côté de la vaccination antidiphtérique dont je viens de parler, des vaccinations antivariolique et antityphique qui ne sont pas des initiatives spécifiquement communales, la ville de Bruxelles notamment a organisé un service de séroprophylaxie de la rougeole qui s'efforce de procurer du sérum de convalescents ou d'adultes ayant eu la rougeole aux médecins qui ont à soigner des rougeoleux. Bien entendu, à côté de ces services existent tous ceux qui ont trait à la santé publique et il faut y ajouter comme spécialement intéressant et susceptible de rendre de grands services en assurant un meilleur rendement de l'ensemble un service social bien organisé. Il me paraît cependant qu'une critique peut être faite en ce qui concerne l'organisation notamment à Bruxelles : alors que presque tous les services relatifs à la santé publique sont groupés sous une même direction, l'inspection médicale scolaire qui devrait être avec cette direction en liaison étroite ou même y être rattachée en est totalement indépendante. Une sérieuse collaboration de ces deux groupements serait, semble-t-il, très favorable et éviterait une dispersion de forces pour le plus grand bien de tous.

En fait, et c'est suprêmement injuste, les initiatives communales

dans le domaine de l'hygiène n'apparaissent pas toujours au grand public non initié comme particulièrement brillantes, sans doute parce qu'elles s'attaquent essentiellement à des questions qui touchent surtout à notre vie quotidienne, à nos contingences immédiates. Et pourtant, elles représentent un travail nécessaire d'autant plus méritoire que ceux qui l'entreprennent avec patience et ténacité ne peuvent espérer en retirer aucun autre profit que la satisfaction d'un devoir accompli et d'un service rendu à la collectivité.

L'initiative des provinces, par contre, semble plus capable de retenir l'attention même de la population non avertie. Elle est, plus directement que celle des communes, liée aux progrès des sciences mais elle est aussi, en réalité, l'initiative d'une ou de quelques personnes qui ont réussi à émouvoir et à intéresser à leur œuvre l'administration provinciale. Il y a quelque soixante ans, la province de Brabant avait déjà créé un Institut ophtalmique ; mais il était plutôt une clinique ou un dispensaire qui, faisant en dernière analyse double emploi avec le service d'ophtalmologie des hôpitaux ne tarda pas à disparaître.

Quand on étudie l'action des provinces dans le domaine de l'hygiène, on constate que trois d'entre elles ont pris une place prépondérante : Liége, Hainaut, Brabant. Les autres ont créé à leur tour des instituts bactériologiques mais d'importance moins grande soit pour leur compte personnel, soit en collaboration et avec l'appui de l'Etat. Il nous paraît utile de nous limiter aux trois premières, d'abord parce que leur œuvre fut de loin la plus considérable, ensuite parce que leur activité n'est pas identique : la direction dans laquelle elles ont plus spécialement conduit leurs efforts est différente (en dehors, bien entendu, des services de diagnostic qui se retrouvent dans tous les instituts similaires). Chacune de ces directions reflète, somme toute, les tendances personnelles des hommes qui furent chargés de réaliser l'œuvre d'hygiène : Malvoz à Liége, Herman à Mons, Bordet à Bruxelles. Il ne faut pas s'en étonner : le domaine de l'hygiène est extrêmement étendu ; chacun s'intéresse à une partie de ce vaste ensemble qu'il est matériellement impossible de connaître dans son entièreté. Ces instituts, foyers de recherches scientifiques, contribuèrent considérablement au renom international de la science belge.

Reportons-nous aux années 1888-1889. Un jeune savant qui devait devenir un de nos maîtres les plus éminents et les plus vénérés, Van Ermengem, vient de rentrer d'un voyage d'études à Berlin. Dans le laboratoire de Robert Koch, il a étudié un microbe récemment découvert, l'agent étiologique présumé d'une maladie qui sème l'épouvante, le vibrion du choléra ou bacille virgule. Vers cette même époque, une épidémie éclate à Toulon ; Van Ermengem est délégué par le gouvernement pour aller y poursuivre ses études et contrôler les enseignements qu'il a reçus chez Koch. Rentré en Belgique, il est chargé d'enseigner la bactériologie à l'Université de Gand. Puis éclate l'épidémie de choléra de 1892. A l'initative d'E. Beco, secrétaire général du ministère de l'Agriculture

et futur gouverneur du Brabant, Van Ermengem est chargé de faire du dépistage de la maladie en même temps qu'un assistant de l'Université de Liége, Malvoz, enthousiasmé comme lui par l'étude de la bactériologie. Chacun d'eux devra surveiller une moitié du pays. On crée à Gand et à Liége des laboratoires outillés pour ces recherches spéciales en grande série et pendant quelques mois, ils fonctionnent avec une activité féconde. Puis, l'épidémie terminée, ils entrent en sommeil.

C'est à cette époque que la presse scientifique annonce que Behring a réussi à préparer un sérum contre la diphtérie et que Roux en a étudié et défini les conditions d'application à la thérapeutique humaine. Or, les provinces viennent d'être dotées d'un nouveau conseil provincial. Celui de Liége, fort élargi dans le sens démocratique, est jaloux de montrer à ses électeurs sa profonde sollicitude : il décide de fournir gratuitement à la population le sérum sauveur. On se souvient du jeune assistant qui a montré son savoir-faire lors de l'épidémie de choléra ; on convoque Malvoz et on l'envoie chez Roux à l'Institut Pasteur de Paris : il s'agit d'obtenir et de rapporter du sérum antidiphtérique. Ici se place un fait qui, insignifiant à première vue, devait être l'origine vraie de toute l'œuvre sociale de la province de Liége ; c'est une simple conversation : Roux veut bien donner du sérum, mais à la condition que son administration sera toujours accompagnée d'un examen bactériologique. Il faut, si l'on veut que l'étude soit faite avec toute la rigueur voulue, que chaque cas soit analysé complètement.

De ce moment, on rouvre à l'initiative provinciale le laboratoire où Malvoz faisait ses recherches de vibrion cholérique et on annonce aux médecins de la province de Liége qu'ils pourront obtenir gratuitement le diagnostic microbiologique des cas suspects. C'est l'embryon de l'Institut bactériologique : ses attributions ne tarderont pas à s'étendre car l'activité du jeune maître est grande ; il n'a pas voulu se confiner aux recherches qui lui étaient confiées ; d'autres maladies infectieuses seront utilement dépistées par l'examen de laboratoire : la tuberculose, la fièvre typhoïde, le charbon, les affections vénériennes, etc., diagnostiquées avec certitude d'une manière précoce pourront être traitées avec une précision et une sûreté plus grandes. En même temps, on créera des services de désinfection, complément nécessaire pour assurer l'assainissement des foyers de contagion. En outre, à côté des maladies infectieuses, il y a une affection vermineuse qui désole particulièrement les provinces charbonnières : c'est l'anémie des mineurs, l'ankylostomasie, véritable fléau pour la population des mines. Dès 1899, le Conseil provincial de la province de Liége prescrit à son Institut bactériologique une enquête sur l'étendue du mal. Il convenait toutefois au préalable de se livrer à une étude approfondie du parasite, de ses mœurs, de sa biologie, en général. Cette étude fut réalisée grâce aux recherches rigoureuses conduites par Firket, Malvoz et leurs collaborateurs. La science leur est redevable de progrès considérables réalisés dans la parasitologie humaine.

Mais il fallait aussi prendre les mesures susceptibles de lutter contre le

mal ; seul, le dépistage des porteurs de vers suivi de leur élimination de la mine jusqu'à guérison, devait assurer une prophylaxie réelle. On se rend compte difficilement de la patience que réclame la recherche des œufs d'ankylostomes dans les centaines de déjections envoyées pour examen au « Dispensaire du Mineur » créé en 1903 par la province et les sociétés charbonnières. Mais le résultat fut inespéré : l'ankylostomasie a pratiquement disparu des mines de la province de Liége.

Ce qui rend ces initiatives particulièrement intéressantes, c'est le fait que pas une découverte ne se fait dans le domaine de la microbiologie sans que immédiatement l'Institut provincial cherche le parti qu'il pourra en tirer pour le plus grand bien de l'hygiène. Et, bien entendu, ce sont les maladies sociales qui sont le plus envisagées : c'est ainsi que le diagnostic bactériologique et sérologique de la syphilis fut assuré peu de temps après la découverte de l'agent étiologique et de la réaction de fixation. On doit reconnaître toutefois que le plus beau titre de gloire de Liége pour ses œuvres d'hygiène est fourni par son activité antituberculeuse. Non content de faire du dépistage de la tuberculose au laboratoire, Malvoz avait compris en effet que la préservation antituberculeuse doit être conduite par des voies très particulières en raison de l'allure particulière de la maladie. C'est qu'on ne débarrasse pas un tuberculeux de ses bacilles de Koch comme un mineur de ses ankylostomes : la maladie a une évolution lente, progressive : les malades doivent être tenus en observation même après guérison apparente pendant des mois et des années. Si, à la province de Liége revient l'honneur d'avoir créé en Belgique le premier sanatorium (Borgoumont) et les premiers dispensaires, à Malvoz on ne peut contester le mérite exceptionnel d'avoir rendu la réalisation possible par la campagne ardente qu'il mena dans tous les milieux de la province pour créer un mouvement, une vague de fond en faveur de l'idée antituberculeuse. Plus récemment, on vit se créer un institut de physiopathologie du travail dont le but n'échappera à personne et dont la mise en œuvre extrêmement délicate ne fut possible que par une application rigoureuse des techniques d'examens les plus modernes.

L'impulsion donnée ne devait d'ailleurs pas se limiter à la province de Liége : l'idée était en marche, d'autres provinces allaient suivre l'exemple. Le Gouvernement provincial du Hainaut, guidé par le docteur Caty, décida bientôt d'imiter l'initiative liégeoise et, dans ce but, demanda le concours de Herman qui, ami et collaborateur de Malvoz, imbu des mêmes idées généreuses, riche des mêmes enthousiasmes, devait être la cheville ouvrière de l'œuvre et mener le bon combat.

Il faudrait, en ce qui concerne le Hainaut, répéter à peu près et avec quelques variantes ce que j'ai dit pour la province de Liége ; citons notamment le diagnostic des maladies contagieuses (tuberculose, diphtérie, syphilis, etc.) et surtout le dépistage et la prophylaxie de l'ankylostomasie. Faut-il dire que ces services ne restèrent jamais dans l'ornière ? A l'affût des recherches nouvelles dont on pouvait faire bénéficier la collectivité, Herman devait constamment élargir le domaine d'activité de son Institut au

fur et à mesure que les découvertes scientifiques permettaient de nouvelles applications ; je citerai comme exemple la dernière initiative hennuyère : l'activité du Comité provincial contre le cancer avec ses services de diagnostic et de traitement par les techniques les plus précises et les plus scientifiques. Mais où l'activité de l'institut montois prend une allure particulière, c'est dans la création d'un musée d'hygiène destiné à faire pénétrer dans l'esprit populaire les notions élémentaires d'hygiène si abstraites lorsqu'elles sont exposées d'une manière purement verbale.

Comme le faisait remarquer le docteur Caty, promoteur du musée, « pour que notre peuple s'astreigne aux règles qu'on veut lui imposer, il faut qu'il en comprenne la raison ». Mais il est bien difficile de se faire comprendre de la population ouvrière, de faire des démonstrations à la portée du peuple sans tomber dans des approximations qui apparaissent aux connaisseurs, ridicules et inexactes. Cette tâche ingrate, Herman l'a parfaitement réalisée ; il est difficile d'imaginer à la fois plus d'ingéniosité et cependant de rigueur scientifique que ce que l'on voit au musée de Mons. Sous une forme tangible, objective, sont exposées toutes les principales branches de l'hygiène ; je cite notamment les notions d'hygiène alimentaire, en particulier le difficile problème de la ration alimentaire ; tout ce qui touche à l'hygiène des habitations, à l'hygiène scolaire, à l'hygiène urbaine : captages d'eau, épuration d'eaux usées, etc. L'effort fut considérable pour former ces collections ; le résultat est extêmement encourageant, le musée intéresse le grand public et contribue réellement à son instruction.

La province de Brabant ne pouvait rester indifférente au grand mouvement provoqué par les découvertes de Pasteur et de son école, découvertes qui permettaient une action efficace contre les maladies infectieuses et spécialement contre les maladies dites sociales. En 1901, à l'initiative de Ch. Janssen et d'A. Monville, conseillés par P. Héger et Malvoz, elle décida de créer à son tour un Institut de bactériologie, mais elle y adjoignait un institut antirabique. Elle désigna pour en prendre la direction J. Bordet, alors assistant à l'Institut Pasteur de Paris. Cet institut devait prendre, trois ans plus tard, la dénomination : Institut Pasteur de Bruxelles. Quoique organisme provincial, il ne crut pas devoir limiter son action à la seule province de Brabant en ce qui concerne la prophylaxie de la rage. Le Gouvernement provincial estima en effet qu'un service de cette nature devait forcément être à la disposition du pays entier parce que, limité au seul Brabant, il n'aurait pas pu rendre des services proportionnés à l'effort financier qu'il réclamait. Les services de diagnostic et de traitement de la rage exercent donc leur activité dans l'ensemble du pays.

Quant au service d'analyse de produits suspects et au service d'analyse des eaux, ils sont réservés à la province. Je ne pourrais que me répéter, ces services sont les mêmes que ceux des autres provinces. Mais il y a une troisième section dont l'origine est, en fait, antérieure à la création de l'Institut. Depuis 1894, Funck avait créé avec l'appui d'une fondation particulière un institut ayant pour fonction de préparer du sérum anti-

diphtérique. Repris par la province de Brabant puis, vers 1907, intégré dans l'Institut Pasteur, ce service devait se développer considérablement au fur et à mesure que les travaux des savants permettaient la mise au point de produits thérapeutiques dont la fabrication exige des contrôles scientifiques sévères. C'est ainsi qu'après s'être limité pendant quelques années au sérum antidiphtérique, ce service prépara par la suite les sérums antistreptococcique et anticoquelucheux (dont il a d'ailleurs arrêté la production depuis quelques années) puis tout récemment, à la demande du Ministère de l'Intérieur et de l'Hygiène, le sérum antipoliomyélitique. Plus tard, lorsque la prophylaxie des maladies contagieuses par vaccination prit le développement que l'on sait, furent successivement ajoutés des services de préparation de vaccins typhiques-paratyphiques, coquelucheux, gonococcique, diphtérique (anatoxine).

Mais nous sommes ici en pleine pratique : pourtant, si à cela s'était bornée l'activité déjà considérable de nos instituts provinciaux, ils n'auraient pas acquis la réputation qu'ils possèdent dans le monde scientifique belge et étranger. S'ils s'étaient bornés à remplir le rôle social pour lequel ils avaient été spécialement fondés, ils auraient certes bien mérité de la patrie mais leur renom serait resté confiné aux régions où ils exercent leur action. A côté de ces services pratiques se développaient des services de recherche scientifique ; celle-ci, entreprise sans aucune idée préconçue d'application immédiate, devait conduire à des découvertes dont plusieurs eurent des conséquences considérables dans le domaine de l'hygiène appliquée. Je n'insisterai pas sur les travaux extrêmement nombreux qui sont restés dans le domaine de la science pure et se rapportent à des questions fondamentales de la biologie : immunité, coagulation du sang, principes lytiques, variabilité microbienne, virus invisibles, etc. Mais je ne puis passer sous silence la découverte de la réaction de fixation par Bordet et Gengou et la découverte du bacille de la coqueluche par les mêmes auteurs.

Chacun sait en quoi consiste la réaction de fixation et comment d'une observation expérimentale, certes très intéressante et extrêmement précieuse dans la technique du laboratoire mais dont on ne pouvait au début prévoir l'extraordinaire diffusion, on fit une méthode de diagnostic des espèces microbiennes d'une part, des maladies d'autre part. C'est en cherchant à appliquer cette méthode à l'étude des sérums de syphilitiques que Wassermann lui donna l'essor prodigieux que l'on connaît et qui, je l'ai dit au début de cette causerie, fut une des bases fondamentales de la lutte contre la syphilis.

Quant au bacille coquelucheux, il fut établi par Bordet et Gengou que c'était dans les premiers jours de la maladie qu'on pouvait le découvrir dans l'expectoration des enfants, et Madsen imagina une ingénieuse méthode de diagnostic précoce consistant à exposer devant la bouche de l'enfant qui présente une toux suspecte et chez qui le diagnostic est encore impossible, une plaque de milieu de culture approprié où on peut retrouver après culture les petites colonies de bacille coquelucheux. Cette découverte permit de préciser les conditions épidéméiolgiques particu-

lières de la maladie ainsi que les mesures de prophylaxie. Elle permit en outre de préparer le sérum anticoquelucheux auquel se substitue actuellement le vaccin coquelucheux dont l'action paraît plus efficace.

Il faut le reconnaître, les administrations provinciales n'ont jamais sous-estimé la valeur des recherches scientifiques exécutées dans leurs instituts et lorsqu'elles en eurent l'occasion elles leur donnèrent volontiers leur appui moral et matériel. J'ai particulièrement insisté sur le rôle des instituts de Liége, Mons et Bruxelles parce qu'ils sont ceux dont le développement fut le plus marquant. D'autres, Namur, Anvers, ont aussi rendu les meilleurs services ; d'autres enfin, Flandres, Limbourg, Luxembourg, fonctionnent sous l'égide de la province et de l'Etat. Tous, et je cite spécialement Gand, apportent à l'hygiène, science d'application, le précieux appui de leurs travaux de recherche expérimentale.

Je ne voudrais pas terminer ce rapide aperçu sans parler enfin des organismes privés qui, par leur activité, ont rendu eux aussi les plus brillants services. Je citerai en premier lieu deux exemples qui nous montrent comment leur action est d'autant plus efficace qu'elle est mieux soutenue par une base scientifique : je veux parler de la « Ligue contre le péril vénérien » qui se donna comme tâche de compléter et d'intensifier la campagne entreprise par les services d'hygiène de l'Etat et de la « Ligue contre le Cancer ». Si leur activité est surtout marquante dans le domaine de la propagande, on reconnaîtra sans peine que lorsque cette propagande est précise, lorsqu'elle indique les armes au moyen desquelles on peut lutter, elle obtient des résultats effectifs. C'est le cas de la « Ligue contre le péril vénérien ». Les armes dont nous disposons là sont bien définies ; elles sont d'application sinon facile, au moins toujours possible ; par contre, pour le cancer, nous sommes toujours dans le domaine de l'hypothèse. La propagande dans les deux cas est conduite d'une façon identique puisque la même personne en est chargée. Et cependant les résultats enregistrés par la première sont effectifs, ceux fournis par la deuxième sont simplement encourageants ; je reconnais d'ailleurs qu'il faut beaucoup plus de persévérance et de ténacité pour agir lorsque les résultats sont lents et incomplets que lorsque l'amélioration se montre rapidement.

En fait, les premières en date des grandes initiatives privées furent celles relatives à la tuberculose. On se souvient, j'en ai parlé au début de cette causerie, du grand mouvement d'opinion créé par l'active propagande de Malvoz et qui devait aboutir à la création du sanatorium provincial de Borgoumont. Dans le reste du pays, ce mouvement avait trouvé des échos, l'idée était en marche et l'on vit se fonder des organismes nombreux qui cherchaient à combattre le fléau par la création de consultations, de dispensaires, de sanatoria. La propagande, une des bases essentielles de l'hygiène, n'était pas négligée : conférences, tracts, affiches, furent répandus à profusion. Si la tuberculose n'est pas encore vaincue, elle est pourtant en bonne voie de régression et on peut espérer que la récente campagne en faveur de la vaccination par le vaccin dit B. C. G. ne sera pas inutile ; comme pour la syphilis, la lutte peut s'appuyer sur des bases

scientifiques précises. Mais l'action dispersée de ces organismes n'avait pas un rendement proportionnel à l'effort déployé. La fusion des principaux d'entre eux fut récemment réalisée formant ainsi un puissant organisme : « Œuvre nationale belge de Défense contre la Tuberculose » qui comprend l'Association nationale belge contre la Tuberculose, la Ligue nationale belge contre la Tuberculose et l'Œuvre de Préservation de l'Enfance contre la Tuberculose. Elle assume avec autorité et avec de puissants moyens d'action grâce à l'appui de l'Etat l'armement antituberculeux de notre pays.

Je citerai encore la « Ligue d'Hygiène mentale ». Cette dernière, à côté de ses services pratiques : propagande, enquêtes, dispensaires, service social, etc., a établi un centre scientifique d'études qui fonctionne essentiellement au dispensaire central de la Ligue. Tous ces organismes privés, même soutenus par les pouvoirs publics, restent néanmoins autonomes, ce qui leur donne beaucoup d'élasticité et leur permet notamment d'établir entre eux des liaisons, des relations, de coordonner leurs efforts et d'obtenir ainsi des résultats meilleurs et plus complets.

Toutes ces initiatives nous montrent, en dernière analyse, que la notion d'hygiène s'est rapidement répandue dans toutes les classes. Actuellement, chacun se rend compte qu'elle est un devoir de solidarité et que l'ignorer c'est se faire tort à soi-même ; aussi a-t-on vu des sociétés industrielles, avant même d'y être amenées ou contraintes par des prescriptions légales, organiser des services de dépistage des maladies professionnelles et de préservation contre ces maladies, sans compter les œuvres qui sont plus particulièrement des œuvres de bienfaisance mais n'en ont pas moins pour cela une action heureuse sur l'état sanitaire.

Proclamons-le bien haut, l'hygiène a fait dans ces quarante dernières années des progrès prodigieux : elle s'est confondue avec raison avec tout ce qui a trait à la création du mieux-être des collectivités et des individus. Peut-être n'est-il pas vain d'espérer que, malgré la terrible leçon d'égoïsme de la guerre, à cause d'elle, peut-être même, les idées généreuses tendront de plus en plus à prendre la place qui leur revient dans l'organisation de notre vie commune.

NOTE SUR LE DÉVELOPPEMENT DES SERVICES GOUVERNEMENTAUX D'HYGIÈNE EN BELGIQUE

par le Docteur TIMBAL,

Directeur Général de l'Administration de l'Hygiène

Vues générales

Les progrès de l'hygiène publique en Belgique durant le premier siècle de l'indépendance de notre pays, sont tout naturellement liés à la fois au développement de nos institutions politiques, et au développement des sciences dont dépendent la médecine en général et l'hygiène en particulier.

Cependant jusque très avant dans le XIXme siècle nos services d'hygiène voient leur activité si généralement bornée à la surveillance de simples mesures sanitaires ou à l'organisation de moyens matériels d'assainissement, qu'on peut appeler cette période de notre histoire médicale : *la période de l'hygiène sans le savoir*. Il faut arriver à Pasteur et à ses merveilleuses découvertes pour voir s'ouvrir la *période scientifique* du développement, sur une base vraiment rationnelle, de la défense de la santé publique.

Activité de l'Administration

Première phase

L'histoire de l'activité de l'Administration de l'hygiène est naturellement le reflet des découvertes scientifiques qui caractérisent l'évolution de la médecine curative devenue peu à peu médecine préventive.

Au début, le service de santé du Gouvernement voit son activité pour ainsi dire exclusivement se borner à l'application de l'arrêté loi de 1818 sur la police des maladies professionnelles ; et, en ce qui concerne la situation sanitaire générale du pays, à laisser agir les Commissions médicales qui, suivant l'expression hollandaise : « ont toujours l'œil plus ou moins fixé sur les maladies ».

Les Commissions médicales provinciales, constituées par la loi de 1818 sur l'Art de guérir, sont au nombre de une à deux par province ; il en existe 14 pour tout le Royaume. Elles ont pour mission : 1° d'examiner et de viser les titres de ceux qui s'établissent dans leur ressort pour y exercer une branche quelconque de l'art de guérir ; 2° d'organiser les examens des candidats à la profession de sage-femme, de dentiste, d'infirmier ou d'infir-

mière ; 3° de veiller dans l'étendue de leur ressort, à ce que la pratique des arts médicaux soit exercée d'une manière convenable et régulière.

Cette phase qui peut être appelée la *phase administrative*, va de 1830 jusque 1845-1846, où dans le pays affaibli par les périodes de famines sévirent de si terribles épidémies de variole, typhus et fièvre typhoïde.

Deuxième phase

Le Gouvernement, effrayé de la condition des villes et des campagnes au point de vue de l'hygiène, se rend compte qu'il est de son devoir d'intervenir. Il organise le Conseil supérieur d'hygiène en 1849 ainsi que de nombreux comités de salubrité publique dans les agglomérations.

Le Conseil supérieur d'hygiène publique créé par l'arrêté royal du 15 mai 1849, et réorganisé en dernier lieu par l'arrêté royal du 14 septembre 1919, se compose de quarante-cinq membres au plus, nommés par le Roi. Parmi eux se trouvent un ou plusieurs délégués de différents départements ministériels.

Indépendamment des attributions qui lui sont conférées par certaines dispositions légales particulières, le Conseil supérieur d'hygiène a pour mission, en vertu des arrêtés royaux du 14 septembre et du 24 octobre 1919 :

1° D'étudier et de rechercher tout ce qui peut contribuer aux progrès de l'hygiène publique et de formuler à cet égard telles propositions qu'il juge utiles ;

2° De donner son avis sur les questions d'ordre sanitaire et hygiénique qui lui sont adressées par le Gouvernement à son initiative ou à la demande des autorités provinciales ou communales ;

3° D'étudier les questions qui se rattachent au contrôle des sérums, vaccins et produits organothérapiques employés en médecine et notamment d'arrêter les méthodes de contrôle au point de vue de leur innocuité et de leur efficacité. Cette mission était confiée précédemment à la Commission de contrôle des sérums supprimée par l'arrêté du 24 octobre 1924.

Travaux d'assainissement. — On sait que dans l'état actuel de la législation, les communes ont la charge des dépenses relatives à la salubrité locale, notamment de celles résultant de l'exécution de travaux d'hygiène (égouts, voûtements de cours d'eau, distributions d'eau, cimetières, usines d'incinération d'immondices, dispensaires d'hygiène, stations et postes de désinfection, lazarets et pavillons pour contagieux, établissements de bains, lavoirs, citernes à purin et fosses à fumier, abattoirs, etc.).

Dès 1848, des subventions ont été octroyées pour la réalisation de travaux d'hygiène.

Les subsides accordés atteignent en général le tiers du coût des travaux auxquels ils sont affectés. L'Etat subordonne son intervention aux conditions suivantes :

1° Les projets des travaux doivent avoir reçu son approbation préalablement à leur réalisation ;

2° Sauf dans des cas exceptionnels le travail doit être mis en adjudication publique ;

3° Le pouvoir central doit être mis à même d'exercer sa mission de contrôle en cours d'exécution des travaux. Il se fait représenter à leur réception.

L'intervention financière de l'Etat a pleinement atteint son double but, qui était d'encourager l'exécution de ces travaux, utiles entre tous et d'éveiller la sollicitude des autorités locales pour tout ce qui intéresse la santé publique. En 1918-1929, un total de plus de 70 millions de francs a été accordé en subsides pour travaux sanitaires.

Troisième phase

Enfin, complétant l'organisation de l'hygiène, dans la troisième phase de cette histoire de l'administration que je trace ici à grandes lignes, le Gouvernement élabore :

Un arrêté sur les établissements dangereux, insalubres et incommodes (1887) complétant les arrêtés existants ;

Une loi sur les habitations à bon marché (1889) ;

Une loi sur les denrées alimentaires.

Enfin, en 1880, est créé l'Office vaccinogène de l'Etat qui a pour mission de produire du vaccin animal contre la variole et de le mettre, en tout temps et en quantité illimitée, à la disposition des administrations et du corps médical.

Denrées alimentaires. — Quant à l'évolution de l'hygiène alimentaire, il est intéressant de rappeler que, pendant la période de 1830 à 1890, la législation en matière d'hygiène alimentaire se bornait aux dispositions du Code pénal relatives à la répression des fraudes dans le commerce de ces denrées. Deux organismes, la police judiciaire et l'autorité communale avaient pour mission d'assurer l'exécution de ces prescriptions légales.

Mais la police judiciaire n'étant pas capable de contrôler elle-même la pureté des substances alimentaires ne pouvait guère en assurer la surveillance effective ; les communes — hormis quelques villes importantes — auxquelles les lois de 1790 et 1791 imposaient cependant l'obligation de veiller à la salubrité des comestibles, alléguaient ne point disposer des ressources nécessaires pour s'acquitter de ce devoir. L'imperfection de ce système répressif devait fatalement entraîner de graves abus au détriment de l'honnêteté commerciale et de l'hygiène.

La loi du 4 août 1890 apporta enfin remède à cette situation critique. Cette loi donna au Gouvernement l'autorisation de réglementer et de surveiller le commerce des denrées alimentaires au point de vue de la santé publique ou dans le but d'empêcher les tromperies et les fasifications.

Dans le cours des années suivantes, l'Etat installa le laboratoire officiel d'analyse des denrées alimentaires dans le triple but de contrôler les méthodes d'analyse, de procéder à l'examen des échantillons prélevés par le Service et d'analyser gratuitement ceux que prélèvent les agents relevant des communes qui possèdent un service d'inspection.

Habitations à bon marché. — L'amélioration des conditions du logement populaire a été constamment l'objet de la sollicitude des pouvoirs publics en Belgique.

Ce n'est pourtant qu'à la suite d'une enquête faite en 1866, qui apporta des révélations aussi précises que lamentables, que le Parlement vota la loi du 9 août 1889, modifiée ensuite par celles des 30 juillet 1892 et 18 juillet 1893.

En vertu des règles actuellement en vigueur, la Caisse Générale d'Epargne peut affecter, à l'Œuvre des habitations à bon marché, 7 1/2 p. c. de ses placements, la Caisse de Retraite 10 p. c. et la Caisse d'Assurances 10 p: c.

La loi du 11 octobre 1919, dont il est question ci-après, a autorisé la Caisse Générale d'Epargne et de Retraite à étendre aux personnes peu aisées les opérations prévues par la loi du 9 août 1889.

Au 31 décembre 1923, les avances successives de la Caisse générale, en faveur de l'Œuvre des habitations ouvrières et des habitations à bon marché, atteignent au total 198.326.212 francs ; ces fonds, concurremment avec les fonds de roulement de sociétés, ont servi à la construction ou à l'acquisition d'environ 93.500 maisons.

A la même date, le nombre total de sociétés agréées par la Caisse d'épargne s'élevait à 181, dont 172 constituées sous la forme anonyme et 9 sous la forme coopérative.

Bien que les résultats obtenus, grâce à la loi de 1889, fussent encourageants, le Gouvernement ne les trouva pas suffisants.

Un projet de loi instituant une « Société nationale » des habitations et logements à bon marché déposé dès le 12 décembre 1912 fut voté au début de l'année 1914.

La question fut reprise après l'armistice ; sa solution devenait urgente en raison de la crise intense des logements qui se manifestait dans le pays. La loi fut votée le 11 octobre 1919.

La Société nationale des habitations et logements à bon marché, dont les statuts ont été approuvés par arrêté royal du 21 avril 1920, est une société par actions, douée de la personnalité civile et à capital variable. Son capital initial de un million a été souscrit par l'Etat et par les neuf Provinces qui contrôlent sa gestion.

La Société nationale a pour objet : 1° de provoquer la création de sociétés locales ou régionales d'habitations à bon marché ; 2° de faire des avances de fonds à ces sociétés.

Les fonds avancés par la Société nationale sont mis à sa disposition par l'Etat. Ils sont remboursables en 66 annuités ; le taux d'intérêt, fixé par la loi budgétaire, est actuellement de 2 p. c. l'an.

Au 31 décembre 1924, le total des fonds avancés par l'Etat à la Société nationale s'élevait à 505 millions et atteint aujourd'hui une somme beaucoup plus considérable.

La loi du 11 octobre 1919, a été complétée d'une façon heureuse par la loi du 25 juillet 1921, en vue de permettre à la Société nationale de pour-

suivre, en se conformant aux lois sur la matière, l'expropriation pour cause d'utilité publique même par zones, d'immeubles bâtis ou de terrains non bâtis.

Ces nouvelles dispositions ont été introduites en vue : 1° de permettre à la Société nationale d'obtenir, à des prix raisonnables, les terrains indispensables à la construction d'habitations à bon marché ; 2° de permettre au Gouvernement d'exproprier les taudis en cas d'inertie de la part du bourgmestre, et d'améliorer ainsi considérablement les conditions de logement de la classe peu aisée.

Société nationale de distributions d'eau. — Une autre question d'un autre et immense intérêt public trouva, en 1912, sa solution par la création de la Société nationale de distributions d'eau, une œuvre qui paraît généralement peu connue dans ses buts et ses travaux réalisés jusqu'à ce jour.

Cette société constituée le 15 mai 1914 entre l'Etat et les neuf provinces belges, et à laquelle toutes les communes peuvent adhérer constitue une institution autonome, gérée par un Conseil d'administration, ayant des statuts propres, et pour mission finale d'établir et d'exploiter des services de distributions d'eau en lieu et place des communes.

Période pasteurienne

Cette phase presque exclusivement administrative et technologique de l'hygiène exposée, passons à la phase scientifique qui s'ouvre avec les merveilleuses découvertes de Pasteur et de son Ecole. Ce sont, en effet, ces découvertes qui transformant radicalement la médecine curative et instaurant sa puissance préventive permirent à l'administration de l'hygiène d'entrer délibérément dans les voies scientifiques de protection de la santé publique.

Son activité durant cette époque, peut être caractérisée d'un seul nom : Velghe. Son œuvre principale est l'organisation de l'inspection d'hygiène en vue de la défense des populations contre les maladies épidémiques, défense basée sur les découvertes de la Science et suivant pas à pas l'évolution de celle-ci.

Une esquisse des attributions et du fonctionnement de cet organisme, suivie de l'exposition de ses travaux constituent sans doute le relevé le plus concret des phases de la lutte pour la santé entreprise en Belgique avec les armes nouvelles.

Inspection d'hygiène

L'inspection d'hygiène se compose actuellement de trois inspecteurs attachés à l'administration centrale, de deux inspecteurs dans le Brabant, dans le Hainaut et le Luxembourg ; d'un inspecteur dans chacune des autres provinces.

Les attributions des inspecteurs d'hygiène ont été déterminées par l'arrêté royal du 19 juillet 1911 et par le règlement organique de l'inspection, en date du 20 décembre de la même année.

En vertu de ces arrêtés, les inspecteurs sont chargés : de rechercher les mesures destinées à améliorer la situation hygiénique et sanitaire des populations ; de remplir les missions que le Ministre juge devoir leur confier à l'effet de rechercher les moyens de prévenir et de combattre les maladies épidémiques; d'émettre leur avis sur les affaires d'ordre technique ressortissant au domaine de l'hygiène, soumises à leur examen par les gouverneurs de province ; d'éclairer les administrations locales, les médecins, le corps enseignant et le public sur tout ce qui concerne l'organisation et le fonctionnement des services sanitaires, l'assainissement des localités et la prophylaxie des maladies transmissibles, et de leur prêter à cet effet leur assistance ; enfin, d'exercer la haute surveillance des établissements dangereux, insalubres ou incommodes, dans les limites où cette surveillance relève du Ministère de l'Intérieur et de l'Hygiène.

En vertu de l'arrêté royal du 10 juin 1922 et de la décision ministérielle du 15 juin 1922, les inspecteurs d'hygiène sont qualifiés pour recevoir, de la part des médecins, la déclaration des cas de maladies transmissibles.

Ils sont chargés de faire gratuitement, à la demande des médecins, les recherches de laboratoire en vue de déterminer l'origine des épidémies, le dépistage des porteurs de germes, ainsi que la désinfection de ces derniers.

Ils disposent tous d'une *monitrice sanitaire* qui a pour mission d'initier gratuitement l'entourage des contagieux à la pratique de la désinfection durant le cours de la maladie et aux mesures à prendre pour éviter la contagion.

La plupart des inspecteurs d'hygiène ont un *laboratoire de chimie et de bactériologie* et quelques-uns d'entre eux assument la direction d'un service volant de désinfection muni de camionnettes automobiles.

Enfin, ils ont reçu mission de coopérer soit directement par eux-mêmes, soit au moyen de collaborateurs, à la vulgarisation de l'hygiène, par voie de conférences.

Inspection des viandes. — L'inspection des viandes est organisée, en vertu de la loi du 4 août 1890, dans toutes les communes du pays. Elle comporte l'inspection de toutes les viandes, immédiatement après l'abatage ; ou, s'il s'agit de viandes étrangères, au moment de leur entrée dans le pays. Ce service, confié à des vétérinaires, est surveillé et contrôlé par les inspecteurs vétérinaires du Gouvernement. Ces fonctionnaires dépendant du Ministère de l'Agriculture, ressortissent à l'Administration de l'hygiène pour ce qui concerne l'inspection des viandes.

Inspection des pharmacies. — Quant à l'inspection des pharmacies, elle comprend quatre inspecteurs (pharmaciens ou docteurs en sciences).

Des arrêtés royaux du 11 décembre 1893 et du 10 avril 1906 ont confié aux inspecteurs des pharmacies, la mission de visiter toutes les officines et les dépôts de médicaments et de drogues et de veiller à l'exécution des lois et règlements relatifs à l'exercice de la pharmacie et de la droguerie, (y compris les spécialités pharmaceutiques, les toxiques, les stupéfiants, les désinfectants, les antiseptiques).

Organismes dépendants

Outre l'Office vaccinogène dont il a été parlé, outre les laboratoires de certains inspecteurs, il est installé au *Parc du Cinquantenaire, à Bruxelles, un laboratoire de l'Administration de l'hygiène*, organisme d'études des questions qui lui sont confiées par l'Administration de l'hygiène. Il assure, en outre, le contrôle des sérums, vaccins, et produits organothérapiques.

Organismes consultatifs

Comme organismes consultatifs, l'administration compte :
L'Académie Royale de Médecine instituée en 1841, qui a pour mission de répondre aux demandes qui lui sont faites par le Gouvernement et de s'occuper de toutes les études et recherches qui peuvent contribuer aux progrès des différentes branches de l'art de guérir ;

Le Conseil supérieur d'hygiène, institué en 1849 et que l'arrêté royal du 14 septembre 1919 a réorganisé. Il compte 45 membres, tous nommés par le Roi ;

La Commision de la Pharmacopée, instituée par l'arrêté royal du 18 janvier 1909, qui est chargée de la rédaction et de la revision de la pharmacopée et de ses suppléments et est appelée, en outre, à émettre son avis sur les questions qui lui sont soumises par le Gouvernement au sujet de l'exercice de la pharmacie.

Organismes rattachés

Comme *organismes autonomes rattachés* à l'Administration de l'hygiène :
La Société nationale des distributions d'eau, créée en 1914. J'ai donné plus haut son programme d'action détaillé,
L'Œuvre nationale de l'Enfance.
Cette œuvre fut créée par la loi du 5 septembre 1919. Elle a pour attributions :
1° D'encourager et de développer la protection de l'enfance et notamment de favoriser la diffusion et l'application des règles et des méthodes scientifiques de l'hygiène des enfants soit dans les familles soit dans les institutions publiques ou privées d'éducation, d'assistance et de protection ;

2° D'encourager et de soutenir par l'allocation de subsides ou autrement les œuvres relatives à l'hygiène de l'enfance ;

3° D'exercer un contrôle administratif et médical sur les œuvres protégées.
Elle s'occupe des organismes suivants : *a*) les consultations de nourrissons ; *b*) les gouttes de lait annexées aux consultations ; *c*) les crèches ; *d*) les cantines maternelles, qui assurent aux futures mères et aux mères nourrices un repas journalier consistant ; *e*) les colonies d'enfants débiles, établies à la mer ou à la campagne, où les enfants menacés de tuberculose,

ou particulièrement débiles, bénéficient d'une cure d'air et d'un régime de suralimentation ; *f)* les consultations pré- et postnatales.

Les frais des œuvres d'alimentation de la première enfance, subsidiées par l'Œuvre nationale, sont supportés à concurrence de moitié par l'Etat, un quart par la Province, un quart par la commune.

L'intervention de l'Etat au profit des œuvres de l'enfance est de 17 millions 125.000 francs pour l'année 1930.

La Croix-Rouge dépend de l'Administration de l'hygiène pour ses buts de paix et du Ministère de la Défense nationale, pour ce qui concerne l'aide apportée par cet organisme au service de santé de l'armée.

Organismes subsidiés

Enfin, parmi les institutions privées qui sont subsidiées par l'Administration de l'hygiène, se marque en premier lieu l'*Œuvre nationale de Défense contre la Tuberculose* constituée par la fusion de la Ligue nationale contre la Tuberculose, de l'Association nationale belge contre la Tuberculose et de l'Œuvre de Préservation de l'Enfance contre la Tuberculose.

Un crédit de 10 millions est inscrit au budget de 1930 pour subventionner cette œuvre.

De plus les Chambres législatives viennent de lui accorder une dotation de cent millions de francs.

Ensuite, la *Ligue nationale contre le péril vénérien* qui est essentiellement un organisme de propagande et de vulgarisation. Un crédit de 2.800.000 francs est inscrit au budget pour la prophylaxie des maladies vénériennes.

Les *centres anticancéreux*, centres de traitement pour lesquels le budget prévoit un crédit de 2 millions.

Disons aussi que l'ensemble du budget de l'Administration de l'hygiène, pour 1930, est d'environ 65 millions y compris les 17 millions destinés à l'Œuvre nationale de l'Enfance.

Police sanitaire maritime

La police sanitaire maritime joue un rôle considérable dans la lutte contre les épidémies. En exécution du règlement du 24 janvier 1910, modifié par l'arrêté royal du 1er mars 1930, sur la police sanitaire maritime, le Ministre de l'intérieur et de l'hygiène décide quels sont les pays dont les provenances sont dispensées de la patente de santé et de la visite médicale à leur arrivée dans les eaux territoriales ou dans un port belge. Les navires et bateaux non dispensés ne sont admis à la libre pratique qu'après que leur état sanitaire a été reconnu par les médecins du service de santé.

La vérification de l'état sanitaire des navires s'effectue à *Doel* et, en cas de force majeure, à *Anvers* pour les navires à destination du port de

cette ville et au delà ; à *Selzaete* pour ceux qui se rendent à Gand ; à l'entrée des ports d'*Ostende* et de *Nieuport* pour les navires à destination de ces ports ; à l'entrée du port de *Zeebrugge*, pour les navires faisant escale à ce port ou se dirigeant sur Bruges.

Si au cours de son examen, le médecin du service de santé juge ne pouvoir admettre le navire ou bateau à la libre pratique, ce dernier peut être soumis aux mesures d'isolement, d'observation, de désinfection, de dératisation et désinsection et autres, dans les limites prévues par la Convention de Paris de 1926 et par l'arrêté royal du 1er mars 1930.

Les voyageurs arrivant par chemin de fer d'une circonscription territoriale contaminée sont, en vertu de l'arrêté royal du 19 octobre 1908, l'objet d'une surveillance spéciale, de la part du personnel des chemins de fer, à la frontière ainsi que pendant la durée de leur voyage à l'intérieur du pays. Lorsqu'il le juge utile, le Ministre de l'Intérieur et de l'Hygiène peut prescrire une visite médicale, qui s'effectue autant que possible en même temps que la visite douanière.

Les personnes visiblement indisposées sont seules soumises à un examen médical approfondi.

L'Inspection sanitaire du batelage est parfaitement organisée dans le même but. Lorsque les circonstances le commandent, le Ministre de l'Intérieur et de l'Hygiène peut, en vertu de l'arrêté royal du 29 octobre 1908, décider l'inspection sanitaire du batelage dans tout ou partie du pays. Les agents de la douane et des voies navigables qui desservent ces postes y visitent les bateaux à leur passage. Le service est organisé de manière telle qu'une visite soit faite au moment du départ du bateau, dès son arrivée, et au cours de route au moins une fois par jour.

Si un agent constate la présence d'une personne présentant des symptômes suspects, il retient le bateau jusqu'à ce que l'administration communale, immédiatement avertie par lui, ait, s'il y a lieu, pris à l'intervention d'un médecin les mesures d'isolement et de désinfection nécessaires.

Hygiène sociale

Tuberculose

Les maladies dites sociales font l'objet d'importantes mesures de prophylaxie, de traitement et éventuellement de secours aux malades, notamment la tuberculose, les maladies vénériennes et le cancer.

Le Ministère de l'Intérieur et de l'Hygiène, avec le concours du Conseil supérieur d'hygiène publique dirige la lutte contre la *Tuberculose*.

L'Administration de l'hygiène subventionne et contrôle les œuvres antituberculeuses privées qui sont en ordre principal: 1° l'Œuvre nationale belge de défense contre la Tuberculose formée par la fusion de la Ligue nationale Belge contre la Tuberculose, de l'Œuvre de la Préservation de l'Enfance contre la Tuberculose et de l'Association nationale belge contre la Tuberculose.

2° Les institutions d'assurances sociales : les mutualités ouvrières.

La répartition des subventions se fait sur les bases suivantes :

Les dispensaires reçoivent 70 % de leurs dépenses autres que celles relatives à l'assistance. En outre, il peut être alloué, éventuellement 30 % de leurs ressources propres c'est-à-dire des sommes recueillies par leur effort personnel.

La cure sanatoriale est encouragée : par une intervention de 5 francs par journée d'hospitalisation, et par une participation de 5.000 francs par lit dans les frais de construction de sanatoriums nouveaux.

La création de lazarets-sanatoriums intercommunaux pour tuberculeux incurables est encouragée par l'octroi d'un subside équivalent au tiers de la dépense.

D'autres départements ministériels contribuent, dans la limite de leurs attributions à la lutte antituberculeuse.

Le Ministère de la Défense Nationale possède, pour le traitement des militaires, des femmes et des enfants des militaires, ainsi que des invalides de la guerre, à Ostende, un hôpital où se fait la cure maritime ; à Bruxelles, un hôpital où se fait le triage des tuberculeux et l'hospitalisation des incurables ; à Marchin, un sanatorium.

Le Ministère de la Justice a créé, à la prison de Forest, une galerie de cure pour les détenus atteints d'affection des voies respiratoires. Il a construit la prison-sanatorium de Merxplas destinée à recevoir les condamnés qui sont tuberculeux.

Le Ministère de l'Industrie subventionne les mutualités. D'une façon générale, il accorde 10 % du montant des cotisations versées aux mutualités primaires ; 60 % du montant des cotisations versées aux caisses d'invalidité ; 60 % du montant des cotisations versées aux caisses antituberculeuses. Cette subvention est portée à 100 % pour les unions mutualistes nationales comptant au moins 40.000 membres et à 115 % aux associations qui accordent au chef de famille en traitement dans un sanatorium ou en instance d'hospitalisation une indemnité journalière atteignant au minimum trois francs pour l'épouse et un franc par personne à charge.

De leur côté, les provinces, les communes et les commissions d'assistance publique contribuent également à la lutte antituberculeuse, soit en construisant des sanatoriums, soit en intervenant pour une part dans les frais de construction d'établissements de cure, soit en subventionnant des dispensaires, soit en prenant à leur charge une partie de la journée d'entretien des malades sanatoriés, soit enfin en accordant des indemnités de chômage aux familles de ces derniers.

Le Gouvernement s'attache également à prévenir la tuberculose par diverses dispositions légales et réglementaires permettant l'assainissement des quartiers urbains insalubres, en autorisant les expropriations par zones, en donnant les pouvoirs nécessaires aux bourgmestres et au Roi pour supprimer les taudis ; en régissant le travail des enfants et des femmes enceintes, en assurant l'hygiène du travail, etc.

Les mesures prises ont eu pour résultats d'augmenter considérablement

l'armement antituberculeux du pays. En effet, en 1914, il y avait 24 dispensaires et 600 lits pour la cure sanatoriale, tandis qu'actuellement, il y a cent dispensaires, 4.000 lits pour la cure sanatoriale et 7.000 lits pour enfants débiles, anémiques, prétuberculeux, scrofuleux, rachitiques. Des résultats appréciables ont été notés et on a constaté une sérieuse amélioration de la situation sanitaire. La mortalité par tuberculose qui était de 1,80 pour mille habitants en 1919, est tombée à 1,27 en 1928.

Enfin comme je l'ai dit plus haut le Gouvernement a demandé au Parlement une subvention extraordinaire de 100 millions pour renforcer la défense contre la tuberculose. Cette subvention vient d'être votée.

Maladies vénériennes

En ce qui concerne les maladies vénériennes, il faut reconnaître qu'avant la guerre, le pays n'était guère protégé contre l'endémie syphilitique que par l'existence de quelques règlements communaux sur la prostitution.

En 1919, une grave endémie de maladies vénériennes sévissait dans le pays. Légalement, il incombait aux communes de parer à ce danger. Mais, désorganisées et ruinées par la guerre, ces dernières n'étaient pas en état de livrer bataille à ce redoutable ennemi. Au surplus, il fallait une action uniforme, s'inspirant d'un plan d'ensemble applicable en même temps à toute l'étendue du territoire. C'est pourquoi le Gouvernement se chargea lui-même de la lutte antivénérienne sous la réserve de mettre graduellement fin à son intervention dès que la situation le permettrait.

Il s'organisa puissamment :

1° En orientant cette prophylaxie vers le traitement par l'agréation d'établissements spécialisés, par la gratuité du traitement et des remèdes, par l'assurance d'une discrétion absolue garantie aux malades.

2° En s'efforçant d'obtenir l'amélioration des services communaux de police des mœurs.

3° En éduquant le public.

L'application énergique de cet ensemble de dispositions a eu pour résultat d'enrayer, dès 1920, l'endémie syphilitique.

Cancer

La question du cancer a retenu particulièrement l'attention du gouvernement qui s'inspire principalement des avis de la Commission d'études du cancer. Celle-ci, créée par l'arrêté royal du 25 septembre 1908, se compose de 22 membres nommés par le Roi.

Un crédit de deux millions de francs est consacré, en ordre principal, à encourager les quatre centres anticancéreux universitaires.

Poliomyélite

En 1929, la Belgique fut alarmée par l'apparition de cas de poliomyélite aiguë qui, pour être relativement peu nombreux en comparaison de

ceux constatés dans certains pays voisins n'en retinrent pas moins toute l'attention de l'Administration de l'hygiène.

Le plus large crédit fut dès l'abord accordé par le Gouvernement pour cette lutte.

Par des instructions rédigées sous le contrôle du Conseil supérieur d'hygiène, le corps médical fut avisé des particularités les plus utiles à connaître concernant la maladie généralement difficile à dépister dans ses débuts.

Le problème de la distribution des sérums curatifs fut mis à l'étude sans délai.

D'une part, la fabrication du sérum Pettit de Paris fut commencée à Bruxelles. D'autre part, la collecte du sérum de convalescents fut organisée en vue d'une distribution aux médecins en cas d'offensive ultérieure.

Hâtons-nous d'ajouter que jusqu'à présent, le nombre de cas de poliomyélite en 1930 demeure très restreint et nulle part n'en existe de foyer.

Vulgarisation — Education hygiénique

D'autre part, en vue d'assurer toute leur portée aux mesures légales de protection de la santé publique, la vulgarisation de l'hygiène a été l'objet de l'attention spéciale et persistante du Gouvernement. *A la base de la défense de la santé publique, l'instruction et l'éducation* hygiéniques sont considérées comme les mesures les plus importantes.

L'administration demeure pénétrée de cette vérité que la santé est la vraie source de prospérité et de bonheur des peuples et qu'aucun sacrifice n'est trop considérable qui a pour but de *répandre la connaissance* et d'assurer l'application des principes d'hygiène.

Sous ses formes diverses et suivant les populations auxquelles elle s'adresse, la vulgarisation des préceptes de l'hygiène résulte de l'action combinée des administrations publiques, des organismes privés et des particuliers.

Résumé

En résumé, il ne nous paraît pas téméraire d'affirmer que si l'évolution de notre hygiène publique étroitement conditionnée par l'évolution des sciences médicales, a pu vers la fin du XIXe siècle paraître lente et réduite à l'application plus ou moins parfaite des mesures administratives ou technologiques, l'ère pasteurienne lui a ouvert des voies où elle a fait rapidement preuve d'une activité sanctionnée par les plus heureux résultats.

Les caractères épidémiologiques des maladies transmissibles une fois établis, une organisation de lutte adéquate a toujours été mise en œuvre pour chacune d'elles et les résultats les plus favorables ont le plus souvent couronné nos efforts.

C'est ainsi que des *maladies pestilentiennes* aussi meurtrières que la peste, le choléra, le typhus exanthématique, la variole ont complètement disparu des tableaux des causes de décès en Belgique.

Le *paludisme* de source indigène, demeuré dans les pays voisins l'objet d'une lutte difficile et extrêmement coûteuse est à présent inconnu en Belgique.

La fièvre typhoïde qui décimait nos populations et de 1870 à 1880 marquait encore une moyenne annuelle de plus de 4.000 décès est tombée à 224 cas en 1927.

La diphtérie, terreur des mères, qui faisait plus de 4.000 décès chaque année jusque 1890, et 1.828 en 1900 — n'était plus rendue responsable que de 254 décès en 1927.

De même, la mortalité par la *scarlatine* passait de 3.364 en 1870 (5 millions d'habitants) à 118 en 1927 (8 millions d'habitants) ; pour la *rougeole* de 3.320 à 679, et pour la *coqueluche* de 3.472 à 863.

La mortalité par *tuberculose pulmonaire*, osseuse ou méningée qui était de 35 par 10.000 habitants est aujourd'hui de moins de 9, diminuant ainsi sa fréquence des trois quarts.

Enfin, car il faut me borner dans ce *palmarès*, la mortalité infantile qui sévissait encore, aux environs de 1876, au taux de 167 et en 1880, au taux de 168 décès pour 1.000 naissances vivantes, est aujourd'hui tombée au taux de 107 en 1922, et de 92 en 1927, soit pour 145.275 naissances vivantes 13.368 décès de moins de un an.

Au total, on peut dire que grâce au développement des conditions économiques, sociales, mais surtout *hygiéniques* du pays, tandis que en 1830, avec une population de 4 millions d'habitants, 102 mille décès étaient déclarés, c'est presque exactement le *même chiffre de décès qu'on enregistre dans le pays pour une population double*

Ainsi tandis qu'il y a cent ans, c'était une moyenne probable de *25 ans* de vie qui était promise à chaque sujet naissant, c'est aujourd'hui une moyenne probable de *50 ans* de vie que l'hygiène lui offre dans son berceau

Pour les statisticiens plus abstraits, nous dirons encore autrement ; que tandis que le taux de mortalité était en 1830 de 25,57 pour 1.000 habitants ; de 23,26 en 1870 ; de 20,85 en 1890 ; de 15,20 en 1910 ; il était descendu à 13,84 en 1920 et 13,46 en 1927.

Quelle que soit l'éloquence de ces chiffres, on ne fera pas à l'Administration de l'hygiène du Gouvernement l'injure de croire qu'elle se déclare satisfaite et prête à s'endormir sur ses lauriers.

Le succès en donnant à l'hygiène raison de façon éclatante dans certains domaines, ne peut que nous engager à poursuivre l'ennemi, là même où naguère, nous le croyions inexpugnable.

Et l'administration avec l'aide médicale si dévouée qui ne lui a jamais manqué dans le passé, avec la collaboration de tous les Belges de cœur attachés aux grandes œuvres sociales, entrevoit l'avenir sanitaire du pays avec une foi pleine et entière.

L'INTERVENTION DE L'ÉTAT DANS L'HYGIÈNE INDUSTRIELLE

par le Dr LANGELEZ

Agrégé à l'Université,

Inspecteur général du Service médical du Travail

Il faut porter bien loin le regard dans le passé de notre pays pour y découvrir les premières traces de l'intervention des pouvoirs publics en vue de protéger les travailleurs et d'améliorer leurs conditions d'hygiène et de sécurité.

Dès 1810 déjà, il est fait mention d'un corps d'ingénieurs officiers des mines, chargés d'une mission officielle de réglementation et de contrôle.

Puis, ensuite, un décret du 3 janvier 1813, inséré dans le Code administratif de Belgique, impose les mesures à prendre en cas d'accidents dans les mines et les médicaments à posséder pour secourir les ouvriers empoisonnés par certains produits manipulés. Il est curieux et plaisant de relire les prescriptions édictées qui, par le luxe de leur détail, marquent bien leur époque et permettent de mesurer le chemin parcouru. Les exploitants sont tenus d'être munis d'une boîte de secours composée de la manière suivante :

« Une paire de ciseaux à pointes mousses ; un double levier ; deux vessies ; deux frottoirs de laine ; deux chemises de laine à cordons ; un bonnet de laine ; une couverture ; une bouteille d'eau-de-vie camphrée ; une bouteille d'eau-de-vie camphrée et ammoniacée ; trois petits flacons, dont un d'alcali fluor, un d'eau de mélisse ou d'eau de Cologne, un de vinaigre antiseptique ou des quatre voleurs ; une cuiller de fer étamée ; un gobelet d'étain ; une canule munie d'un petit soufflet propre à être introduite dans les narines, une canule de gomme élastique ; un soufflet ; un petit miroir ; des plumes pour chatouiller le dedans du nez et de la gorge ; une seringue ordinaire avec ses tuyaux ; deux bandes à saigner ; une petite boîte renfermant plusieurs paquets d'émétique de trois grains chacun ; charpie molette ; une boîte à briquet garnie de ses ustensiles avec amadou et allumettes ; nouet de soufre et de camphre pour la conservation des ustensiles de laine ; séné, une livre ; sel d'Epsom, deux livres ; vin émétique trouble, une bouteille de pinte ; vinaigre fort, une bouteille. »

(Décret du 3 janvier 1813, art. 15 ; décision du Ministre de l'Intérieur du 9 février 1813.)

Dans les mines de plomb, comme remède contre la maladie dite colique de plomb, les exploitants sont tenus d'entretenir sur leurs établis-

sements, dans la proportion du nombre d'ouvriers et de l'étendue de l'exploitation, les produits suivants :

« Séné. Electuaire diaphénix. Electuaire bénédicte laxatif. Miel mercuriel. Coloquinte. Huile de noix. Emétique en poudre. Thériaque. Laudanum opiatum. Tamarin. Sel d'Epsom. Sel de tartre. Sirop de noirprun. Squine. Salsepareille. Bardane. Eau de mélisse simple. Eau de chardon béni. Eau des trois noix. Confection d'hyacinthe. Sirop d'œillet. Masse de bols composés. »

Mais, la situation réelle de notre pays, au point de vue qui nous intéresse ici, ne fut vraiment bien définie qu'à la suite de l' « Enquête générale sur la condition des classes ouvrières et sur le travail des enfants », ordonnée par un arrêté royal daté du 7 septembre 1843. Cette enquête, confiée à 7 membres, avait comme objet l'étude d'un projet de loi sur le travail des enfants et la police des ateliers. Dans le but de se documenter aux sources les plus sûres, cette commission poussa ses investigations chez les chefs d'entreprises, s'adressa aux chambres de commerce et des manufactures, aux ingénieurs des mines et, au point de vue spécial de la santé, elle consulta l'académie de médecine, les commissions médicales provinciales les sociétés de médecine et les conseils de salubrité. Le questionnaire adressé à ces différents organismes témoigne déjà d'un réel souci de se documenter complètement, afin d'établir la situation sanitaire réelle des travailleurs manuels. Le voici :

1. Indiquer, d'une manière générale, la constitution physique et l'état sanitaire de la population ouvrière de la province. Existe-t-il, à cet égard, des différences entre les ouvriers occupés aux travaux agricoles et ceux que l'on emploie dans l'industrie, et, parmi ces derniers, entre ceux qui travaillent sédentairement dans la petite industrie ou dans les grands établissements industriels ?

2. Quelles sont les maladies, les infirmités et les difformités que les ouvriers *de tout âge et de chaque sexe* contractent dans l'exercice de certaines professions ?

3. Dans quelle proportion ces accidents s'observent-ils? A quelles causes doit-on les attribuer, et *au bout de quel temps commencent-ils le plus ordinairement à se manifester* ?

4. Quels sont, *dans chaque industrie*, les travaux qui nuisent plus spécialement au développement physique et à la santé des enfants *et des adolescents ?* Décrivez-en les effets.

5. Depuis quel âge les enfants peuvent-ils être reçus dans les établissements industriels sans que l'on ait à craindre que le travail nuise trop à leur développement physique ? Y aurait-il quelque distinction à établir à cet égard entre les différentes industries ?

6. Quelles sont les limites qu'il convient d'établir, selon les âges et

la nature des travaux, à la durée du travail journalier des enfants ? Indiquez les intervalles de repos que vous regardez comme nécessaires.

7. Les veilles et les travaux de nuit doivent-ils être interdits aux enfants et aux adolescents, et jusqu'à quel âge ?

8. Si le travail de nuit devait être toléré dans certains établissements, quelles devraient être les limites et les conditions ?

9. Devrait-on interdire aux enfants certains établissements dangereux ou insalubres, et jusqu'à quel âge ? Désignez ces établissements.

10. A quel âge peut-on laisser l'ouvrier adolescent libre de s'engager dans les fabriques, sans qu'aucune restriction soit apportée à la durée de son travail ?

11. Quels sont le régime alimentaire ordinaire *et l'état des habitations* des ouvriers de la province ? *Jusqu'à quel point ces circonstances et d'autres semblables peuvent-elles influer sur leur état sanitaire ?*

12. Quelles précautions hygiéniques y aurait-il à prendre dans les fabriques, manufactures, mines et usines de la province dans l'intérêt de la santé des ouvriers ?

13. Y aurait-il lieu d'étendre les mesures protectrices de l'enfance aux enfants occupés dans la petite industrie, travaillant isolément ou en petite réunion ?

Cette commission aboutit à l'élaboration d'un projet de loi, qui, défendu âprement à la Chambre par les hommes d'Etat de l'époque échoua, au Sénat, devant l'inflexible hostilité de ces temps révolus vis-à-vis de toute tentative interventionniste.

Par la suite, plusieurs enquêtes partielles précisèrent l'état de certaines industries particulières ; mais il fallut l'époque sombre de 1886, pour entendre gronder la voix populaire, réclamant plus de bien-être et plus de générosité. La haine et l'amertume au cœur, suscitées par la crise industrielle qui succédait à une ère de prospérité considérable, les classes laborieuses éclatèrent en violences et en menaces et clamèrent leurs volontés et leurs exigences. Le Roi, le 15 avril 1886, institua une nouvelle commission d'enquête de 35 membres, « chargée de s'enquérir de la situation du travailleur industriel dans le royaume et d'étudier les mesures qui pourraient l'améliorer ». Cette commission aux travaux de laquelle nombre d'hommes de sciences et d'industrie du pays apportèrent le concours empressé de leur compétence et de leur dévouement mit à jour les lacunes criantes de notre état social de l'époque et aboutit à une proposition de loi sur le travail des femmes et des enfants qui fut votée en 1889. Cette loi peut être considérée comme l'assise fondamentale de toute notre législation sociale et le point de départ de toute notre réglementation sanitaire industrielle.

Mais, abandonnons de suite l'ordre chronologique des faits pour envisager plutôt la succession des interventions des pouvoirs publics en fonc-

tion du développement des connaissances techniques et des découvertes de la science. Nous examinerons l'état actuel de la législation sanitaire, aux points de vue suivants : 1° l'amélioration du milieu du travail ; 2° la protection de l'ouvrier contre les intoxications et les infections ; 3° les mesures destinées à sauvegarder l'état général des travailleurs ; 4° les mesures réparatrices.

*
* *

Signalons, en manière de prémisses, qu'en Belgique la surveillance des établissements industriels et, partant, l'initiative des mesures à prendre, dépend d'autorités différentes selon la nature des travaux qui s'y effectuent. L'Administration des Mines a dans ses attributions les mines et carrières, ainsi que les établissements de grosse métallurgie (aciéries, laminoirs, hauts fourneaux, etc.).

L'Inspection du Travail inspecte, tous les autres locaux ou chantiers de travail, sauf les ateliers familiaux et quelques industries spéciales relevant du Ministère de l'Intérieur et de l'Hygiène (abattoirs, clos d'équarrissage, boyauderies, etc.).

Rappelons aussi qu'en matière de réglementation, existe en vertu de l'arrêté royal du 29 janvier 1863, arrêté qui ne fait d'ailleurs que continuer le décret impérial du 15 octobre 1810, un régime des établissements classés comme dangereux, insalubres et incommodes; ce classement des industries visait, dès le principe, les nuisances pour le voisinage ; une évolution progressive s'est faite vers la protection sanitaire des travailleurs. En vertu de cet arrêté, le Gouvernement peut prescrire les mesures qu'il juge nécessaires. Quant aux établissements non classés, le Gouvernement peut intervenir également en vertu de *la loi du 2 juillet 1899* qui lui donne le pouvoir de « prescrire les mesures propres à assurer la salubrité des ateliers ou du travail et la sécurité des ouvriers », mais il doit au préalable prendre l'avis des Conseils de l'Industrie et du Travail, des Députations permanentes, de l'Académie de Médecine, du Conseil supérieur d'Hygiène publique ou du Conseil supérieur du Travail.

Bien qu'elles concourent puissamment à l'amélioration des conditions de vie et d'hygiène des classes ouvrières, nous ne ferons que signaler, parce qu'elles relèvent plutôt de considérations sociales que de préoccupations hygiéniques ou sanitaires, les lois sur le repos du dimanche, la loi des huit heures, les lois interdisant le travail de nuit, la loi limitant l'âge d'admission au travail et le travail des personnes protégées (garçons jusque 16 ans, filles jusque 21 ans). Nous négligerons également les prescriptions ne visant que la sécurité du travail pour nous arrêter davantage aux mesures pures de salubrité et d'hygiène.

I. — *Hygiène du milieu du travail*

Le *Règlement général du 30 mars 1905*, constitue, peut-on dire, la charte hygiénique des travailleurs d'usine. Il prévoit l'ensemble des mesures propres à protéger leur santé et leur sécurité *dans les entreprises indus-*

trielles et commerciales assujetties à la loi sur les accidents du travail. Il impose des obligations bilatérales aux patrons comme aux ouvriers ; il règle les conditions des locaux de travail (humidité, cubage, aération, vapeurs, buées, gaz, poussières, éclairage, chauffage, élimination des résidus, vêtements de travail, installations sanitaires, usage des boissons alcooliques, protection contre les accidents). Il est, d'ailleurs, l'origine d'arrêtés postérieurs prescrivant des applications détaillées dans des cas déterminés.

Un arrêté royal du 31 mars 1925 en étend les dispositions *aux établissements classés non soumis à la loi sur la réparation des accidents du travail.* Un autre du 28 janvier 1926 l'étend à *tous les établissements classés,* y compris ceux exploités par l'Etat, à l'exception des mines, minières ou carrières, qui demeurent soumises à des règlements particuliers.

Ces derniers ayant comme base le titre V de la loi du 21 avril 1810 et le décret impérial du 2 janvier 1813 ont donné lieu à un règlement général de police sur les mines, minières et carrières souterraines promulgué par *l'arrêté royal du 5 mai 1919.* L'arrêté royal du 15 septembre 1919 d'autre part règlemente les conditions de travail dans les installations superficielles. Celles-ci correspondent dans l'ensembe aux rubriques du règlement général, mais adaptées aux conditions spéciales des mines ; elles prescrivent des règles plus sévères en ce qui concerne la propreté corporelle comme l'installation de bains douches avec vestiaires y attenant, pour les travailleurs de la surface, des bains douches ou des baignoires dans des cabines distinctes pour les femmes.

Des dispositions complémentaires au règlement général sont prises, visant spécialement la sécurité, en ce qui concerne l'industrie du bâtiment et de la construction par l'arrêté royal du 31 mars 1905 et en ce qui concerne les entreprises de chargement, de déchargement et de réparation des navires et bateaux par l'*arrêté royal du 20 novembre 1906.*

*
* *

A côté des mesures générales édictées par les arrêtés précités, des précautions spéciales doivent être prises dans certains cas. C'est ainsi qu'il fut nécessaire de réglementer de façon particulière le travail dans les caissons à air comprimé, auquel le 1er Congrès des maladies professionnelles de Milan en 1906 avait consacré une attention soucieuse : les dangers auxquels sont exposés les ouvriers de ce métier si spécial se révèlent au moment de la compression et, surtout, à celui de la décompression. Il était indispensable que les travailleurs appelés à ces travaux puissent être examinés par des médecins avertis et que les temps de la décompression soient judicieusement établis. Ces mesures firent l'objet de l'important *arrêté royal du 15 janvier 1914* qui règle les conditions de construction des caissons, les précautions pendant les manœuvres, les prescriptions relatives à l'admission du personnel et les mesures de surveillance médicale.

Un arrêté royal du 27 février 1930 s'efforce de réduire dans une certaine mesure les conditions insalubres des ouvrières occupées dans les

fabriques de colle et de gélatine, au triage et à la manipulation des os non desséchés et dans les dépôts de chiffons, au triage des vieux chiffons. Il suffit de parcourir pendant quelque instants ces chantiers de travail où s'effectue la manipulation des os, garnis encore de matières en putréfaction, de percevoir les odeurs nauséabondes qui s'en dégagent pour que se justifient les mesures d'exclusion du travail prises envers les femmes de moins de 21 ans, la prescription de vêtements de travail adéquats et l'installation de baignoires ou de douches.

Dans une partie de ses prescriptions, l'arrêté royal du 29 mars 1926 interdit *l'emploi de moyens de chauffage dépourvus de dispositifs assurant l'évacuation des gaz de combustion.*

II. — *La protection contre les intoxications et les infections.*

Comme on l'a très bien exprimé, les ouvriers des industries insalubres sont en état de perpétuelle « imminence morbide », les poisons industriels étant fréquemment imperceptibles à nos différents sens.

Bien souvent sans odeur et sans couleur, ils ne manifestent leur présence que par les troubles qu'ils déterminent.

Quoi qu'ils fassent, les ouvriers inhalent des vapeurs ou des gaz toxiques insuffisamment captés, ils respirent des poussières véhiculant des toxiques dangereux, ils manipulent des produits dissimulant des germes de mort. Et parmi ceux-ci, le plomb est peut-être le plus dangereux tant est considérable son pouvoir toxique, insidieux son mode d'action et étendue, sous des formes variées, son utilisation. Le Service médical du Travail de Belgique, sous l'impulsion de son premier chef, le Dr Glibert, a largement contribué à établir le processus d'absorption, d'imprégnation de l'organisme et à en permettre le diagnostic précoce. Les expériences qu'il a faites, les enquêtes qu'il a instituées ont contribué largement à mettre au point cette question primordiale d'hygiène industrielle. Une réglementation complète fut le résultat de ces recherches.

L'arrêté royal du 5 novembre 1910 prescrit les mesures spéciales à observer dans la fabrication de la céruse, des oxydes et du chromate de plomb. Il impose des mesures visant les locaux de travail, la fabrication, les soins de propreté, les installations hygiéniques et il inaugure, peut-on dire, la pratique régulière des examens médicaux personnels des ouvriers par les médecins du travail. Les travailleurs exposés au saturnisme font l'objet d'un examen médical mensuel, et ceux d'entre eux qui sont reconnus atteints de saturnisme chronique ou qui présentent des symptômes récidivants d'intoxication aiguë peuvent être exclus définitivement ou temporairement du métier dangereux.

Ces mesures jointes à l'amélioration des procédés et des conditions techniques de fabrication, ont réduit considérablement les cas d'intoxication dans cette industrie comme la *loi fameuse du 30 mars 1926* relative à l'emploi de la céruse et autres pigments blancs de plomb a fait que l'ouvrier peintre saturnin est aujourd'hui une rareté, alors qu'il y a peu de temps encore, « colique de plomb » voulait dire « colique du peintre ».

Cette loi, votée d'ailleurs par notre Parlement à la suite d'une « Convention » émanant du Bureau international du Travail, interdit la vente aux particuliers et l'achat de carbonate et des autres pigments blancs de plomb, ainsi que des couleurs les contenant ; elle interdit l'emploi des mêmes pigments et des mêmes couleurs pour la peinture intérieure des bâtiments et pour la peinture de tout objet destiné à l'ameublement des bâtiments. Ces dispositions ne s'appliquent pas aux pigments blancs de plomb contenus dans des tubes d'un poids inférieur à 500 grammes, aux travaux exécutés pour l'exportation en vertu de cahiers de charge imposant la céruse ni pour les constructions industrielles où les opérations donnent lieu à des dégagements de gaz sulfureux.

En application de cette loi, une série d'arrêtés royaux et ministériels ont réglé les questions de vente, de transport, d'achat, d'emploi de la céruse pour les besoins professionnels. *L'arrêté royal du 17 septembre 1926* concernant l'emploi en peinture de la céruse et de ses homologues impose aux patrons comme aux ouvriers des mesures spéciales de protection et d'hygiène (vêtement de travail, propreté des locaux, hygiène personnelle, installations sanitaires, etc.) et rend obligatoire, par les médecins du travail, l'examen médical périodique des ouvriers employant la céruse. Ceux d'entre eux qui sont reconnus intoxiqués ou particulièrement menacés doivent être écartés temporairement ou définitivement des locaux dangereux. *L'arrêté royal du 31 octobre 1928* interdit d'ailleurs l'emploi des jeunes gens de moins de 18 ans et des femmes aux travaux de peinture comportant l'usage de la céruse, du sulfate de plomb et des produits contenant ces pigments pour autant que ceux-ci renferment plus de 2 % de poids de plomb calculé à l'état métallique.

Si, grâce aux précautions prises, le saturnisme devient une exception chez ceux qui hier constituaient la majorité des cas morbides, d'autres industries restent particulièrement dangereuses.

Tel est le travail d'émaillage de la tôle et de la fonte au moyen des émaux plombifères. Il nous a été permis de constater que la plupart de ceux qui exercent ce métier dangereux sont en puissance de saturnisme latent, à côté des nombreux cas aigus d'intoxication confirmée. Cette situation a amené le Gouvernement à prescrire par *Arrêté royal du 4 mars 1930* des mesures sévères consistant en une aspiration mécanique des poussières, l'usage de blouses de travail, l'installation de lavoirs et de réfectoires, l'emploi d'un masque respiratoire et l'examen médical mensuel par les médecins du travail.

Tel est le travail de faïencerie, pour lequel on utilise également une couverte à base de minium ou de céruse. Ici encore, un examen médical périodique des travailleurs est pratiqué.

Tel est le travail, tendant à se généraliser, d'application de la peinture pneumatique, qui, indépendamment du plomb, renferme parfois d'autres produits toxiques comme le benzol, le toluol, l'acétone, l'acétate de butyle, l'alcool méthylique utilisés comme solvants ou diluants. Ce travail vient d'être réglementé par *l'arrêté royal du 14 avril 1930* qui impose

l'installation de hottes aspiratrices ou de cabines, dont la construction est détaillée, l'utilisation de masques respiratoires et un examen médical semestriel par les médecins du travail.

Tel est enfin le travail dans les usines à zinc où les accidents saturnins sont combattus par les précautions qu'impose *l'arrêté royal du 12 mars 1925*. Celui-ci édicte l'obligation d'installations sanitaires complètes et un examen médical périodiquement renouvelé par des médecins agréés.

Le plomb, quelle que soit son importance en pathologie professionnelle, n'est pas le seul toxique dont il faille redouter les nuisances. Les médecins d'il y a trente ans se souviennent encore de ces nécroses maxillaires rebelles à tout traitement, de ces cachexies phosphorées et de ces toxémies mal expliquées encore aujourd'hui qui sévissaient chez les ouvriers utilisant le phosphore blanc pour la fabrication des allumettes. *La loi du 30 août 1919* a radicalement interdit la fabrication des allumettes au moyen de ce toxique de mort. Les médecins d'il y a vingt ans, pratiquant dans les Flandres, ont encore sous les yeux ces ouvriers ou ces ouvrières des couperies de poils, aux dents noir d'ébène, serties dans une gencive frangée de gris, gagnés par une timidité et une émotivité morbides, les membres agités d'un tremblement intentionnel allant du simple tic jusqu'à la trépidation choréique la plus complète. C'étaient des victimes de l'hydrargyrisme, fréquent surtout chez les secréteurs, les brosseuses de peaux, les coupeuses de chiquettes et les préposés au soufflage des poils. *L'arrêté royal du 10 août 1912* a soumis à des mesures sévères le travail d'emmagasinage, de nettoyage, de fendage, de dégalage, de carrelage, d'éjarrage, d'ébarbage, de secrétage, de brossage des peaux de même que le coupage et le soufflage des poils et depuis lors les ouvriers employés à la fabrication du secret, et aux diverses opérations subséquentes sont régulièrement examinés tous les trois mois par les médecins du travail chargés de dépister les stigmates précoces de l'intoxication par le mercure. Les cas positifs sont réduits à bien près de néant.

*
* *

Un autre toxique, agissant celui-là, de façon foudroyante est l'acide cyanhydrique que l'on emploie pour la dératisation et la désinsection des navires. Il fallait protéger le personnel ouvrier chargé de cette besogne éminemment dangereuse ; l'*arrêté royal du 22 mars 1927*, l'a réglementé par une série de mesures détaillées depuis le moment où l'on hisse le drapeau blanc d'alarme jusqu'au moment où la rentrée dans le bateau est devenue sans danger. Chaque opération de ce genre doit être autorisée par arrêté ministériel et conduite par des chimistes qualifiés.

*
* *

Les poisons chimiques ne sont pas les seuls contre lesquels il faille s'efforcer de protéger les travailleurs ; ceux-ci sont menacés également par

des infections et des infestations. C'est pour les prémunir contre certaines d'entre elles que les ouvriers occupés au transport, au triage ou à la manipulation des chiffons doivent être vaccinés contre la variole avant l'embauchage et revaccinés tous les trois ans (*Arrêté royal du 4 février 1895*). En vertu de l'article 30 de l'*Arrêté royal du 20 novembre 1906*, les patrons doivent veiller à ce qu'aucun ouvrier ne touche avec les mains nues les peaux, cornes, cornillons, crins ou poils susceptibles de véhiculer la spore charbonneuse. Ils doivent veiller aussi à ce que les ouvriers qui seraient atteints de blessures sur les parties découvertes du corps ne soient pas occupés au chargement, déchargement ou transbordement de ces matières sans avoir appliqué un pansement occlusif. Ils doivent enfin mettre à la disposition des ouvriers des moyens de désinfection. En vertu de *l'arrêté royal du 20 août 1908*, les crins, immédiatement après leur déballage, doivent être soumis à une désinfection suffisante pour tuer la spore charbonneuse et un *arrêté royal du 20 mai 1921* étend cette même précaution aux fabriques de crin frisé. Des mesures administratives récentes mettent en outre en tout temps, au laboratoire d'hygiène de l'Etat, du sérum anticharbonneux à la disposition de tous les médecins belges.

Un exemple frappant de ce que peuvent donner les efforts coordonnés des pouvoirs publics, des chefs d'entreprise et des travailleurs est fourni par les résultats obtenus en Belgique dans la lutte contre l'ankylostomasie. Les mines de la province de Liége et celles du Borinage présentent les conditions nécessaires au développement de la larve : température élevée et humidité. On sait quels ravages effrayants faisait cette infestation parmi nos travailleurs il y a quelque vingt-cinq ans. L'alarme fut donnée surtout par le Dr Malvoz qui créa à Liége le dispensaire du mineur et par le Dr Herman à Mons qui fut l'initiateur du dispensaire de l'ankylostomasie. Les expériences décisives auxquelles se livrèrent nos savants confrères confirmèrent le processus de pénétration de la larve à travers la peau et imposèrent les moyens de lutte : hygiène de la mine, enlèvement des boues et des eaux stagnantes, tinettes mobiles dans la mine, installations sanitaires nombreuses à la surface avec W. C. et douches. L'*arrêté royal du 30 juin 1919* imposa pour le surplus un examen microscopique des déjections pratiqué par un médecin agréé immédiatement avant l'embauchage, un second examen après 40 jours et des revisions périodiques.

En 1903, dans le district de Liége, sur 3.600 ouvriers examinés, la proportion des cas positifs constatés était de 22,7 % ; lors de l'enquête de 1904-1905, 26.773 ouvriers furent examinés avec une proportion de 11,4 % ; en 1908-1910, pour 26.574 examinés 5,3 % de cas positifs. Depuis dix ans, 1.901.139 ouvriers ont subi un premier examen et 87.048 un second examen après quarante jours. Les premiers ont donné 0,103 % et les seconds 0.013 de cas reconnus positifs.

*
* *

Si le devoir de l'Etat était d'assainir, dans la limite des possibilités, le milieu du travail et de protéger l'ouvrier contre les dangers immédiats qui l'entourent, il s'imposait également de prendre les mesures nécessaires pour maintenir et améliorer l'état général de sa santé. C'est guidé par ce sentiment qu'il a limité l'âge d'admission au travail, qu'il a établi la liste des métiers dangereux, ou insalubres interdits au personnel protégé, qu'il a interdit le travail de la jeune mère pendant quatre semaines après un accouchement, qu'il a, par la *loi du 25 juin 1905* imposé de mettre des sièges à la disposition des employées de magasins. C'est, par souci de l'hygiène et de la propreté de la main-d'œuvre, qu'il a pris *l'arrêté royal du 30 avril 1909* prescrivant les dispositions nécessaires pour assurer la salubrité, la sécurité et la décence des locaux affectés temporairement au logement des ouvriers dans les briqueteries et sur les chantiers ; l'*arrêté royal du 20 mars 1925* dit « de propreté corporelle » imposant dans toutes les entreprises les moyens suffisants en vue de remiser les vêtements et de procéder aux ablutions nécessaires, et, dans les usines comportant cinquante ouvriers, un local affecté à l'usage de lavoir-vestiaire avec porte-manteau, des prises d'eau salubre et les moyens efficaces pour l'évacuation rapide des eaux utilisées ; *l'arrêté royal du 28 août 1911* fixant le nombre et les conditions des bains-douches à mettre à la disposition des travailleurs du fond de la mine et *l'arrêté royal du 15 septembre 1919*, imposant par son titre I, « salubrité », des douches, des lavabos et des vestiaires à l'usage du personnel de la surface.

Il a poussé plus loin le souci de la santé de la main-d'œuvre, en instituant, par *l'arrêté royal du 1er juin 1920*, la tutelle sanitaire des adolescents. Cette initiative, particulière au Gouvernement belge, constitue une œuvre réelle de prophylaxie et d'hygiène, un effort des plus louable vers l'adaptation du travailleur aux conditions, nouvelles pour lui, d'apprentissage et d'initiation aux métiers divers. Ajoutant un maillon à la chaîne des œuvres qui prennent l'enfant dès avant sa naissance pour le surveiller médicalement par les œuvres prénatales, les consultations de nourrissons, l'inspection médicale des écoles, elle continue sa sauvegarde au moment particulièrement critique de son développement organique, à la période tout inconnue de lui où se présente la vie réellement active, personnelle et productrice. Elle l'oriente vers les métiers adéquats, n'écartant personne, mais plaçant chacun à sa place ; elle recherche et dépiste les tares de santé ou les infirmités au début ; elle dirige ceux des adolescents qu'un traitement peut guérir ou améliorer vers le médecin traitant, l'hôpital, la clinique, vers les dispensaires d'hygiène mentale, d'orientation professionnelle, de la tuberculose ou antivénériens ; vers les œuvres de plein air, les colonies de vacances ou les séjours à la mer. Purement prophylactique, la tutelle sanitaire n'impose rien à personne ; elle agit par voie de conseils et d'avertissements ; s'assurant la collaboration des infirmières ou des surintendantes d'usine, que nos patrons utilisent, très heureusement de plus en plus, elle met à la disposition de la main-d'œuvre jeune, de 14 à 18 ans, l'ensemble de l'arme-

ment médical et social dont dispose notre pays. La fiche sanitaire de l'adolescent, examiné, pesé, toisé, mensuré, le suit d'usine en usine, enrichie graduellement des constatations faites et des incidents découverts, et bientôt cette fiche, grâce à une coordination qui s'impose, ne sera plus que la suite du carnet médical scolaire que tout jeune Belge devra posséder. Depuis dix ans qu'elle fonctionne, assurée par 1.123 médecins agréés et 10 médecins du travail, la tutelle sanitaire a permis l'examen médical de plus de 475.000 jeunes gens, garçons et filles, et la proportion pour mille des cas anormaux relevés se détaille comme suit :

Affection des voies digestives (spécialement les dents)	430	p. mille
Yeux et acuité visuelle	195	»
Anémie et débilité	76	»
Oreilles et acuité auditive	57	»
Tuberculose et prétuberculose	50	»
Affections du cœur	44	»
Troubles du système nerveux	41	»
Os et articulations	29	»
Nez (végétations adénoïdes)	25	»
Peau	20	»
Hernies	18	»
Divers	15	»

Nul plus que nous n'est persuadé de l'importance majeure de cette institution préventive qui constitue entre les mains des médecins une arme sans égale, d'amélioration sociale.

IV. *Mesures de réparations*

Il me reste à signaler les prescriptions légales édictées en vue d'assurer aux victimes du travail une réparation équitable et d'ailleurs méritée.

Les leçons de la guerre ont bouleversé complètement les méthodes anciennes de traitement des blessures. Elles nous ont appris qu'il importe peu qu'une plaie soit immédiatement « désinfectée » si elle est pansée aseptiquement et qu'il faut aux germes d'infection, une période de plusieurs heures avant d'exercer leur rôle. Cette notion jointe à cette autre que la plupart des traumatismes sont infectés par les premières interventions, quels que soient le dévouement et la bonne volonté qu'on y apporte, a amené à prescrire, par *l'arrêté royal du 17 janvier 1921*, le minimum d'intervention sur le lieu même de l'accident, l'application toute simple de cartouches de pansement aseptique pour réaliser en somme, suivant une expression imagée, l'« emballage aseptique du blessé ». Cette condition remplie, au vœu de l'arrêté, l'industriel doit abriter le blessé et pourvoir à son transfert vers un hôpital ou une clinique agréés, ou vers un local pour premiers soins dont le matériel est détaillé. Cet arrêté détermine en outre la composition des boîtes de secours que tout industriel doit posséder sur chaque chantier de travail, complètes et en parfait état d'entretien.

Les dangers des coups de grisou dans les mines nécessitent la pré-

sence permanente, au siège des stations de sauvetage, de sauveteurs bien exercés. Des dispositions ministérielles toutes récentes viennent d'imposer aux ouvriers se destinant à cette mission, réclamant tant de sang-froid et parfois un réel héroïsme, l'examen médical périodique, par les médecins du travail, destiné à donner à ces auxiliaires si précieux les garanties nécessaires au point de vue de leur sécurité.

Je me bornerai, en terminant, à signaler simplement la loi du 24 décembre 1903 contenant les dispositions relatives à la réparation des accidents du travail et celle du 24 juillet 1927 visant la réparation des dommages causés par les maladies professionnelles. La nature de ces lois dépasse le cadre que je m'étais fixé en commençant ce travail.

Telles sont, en un exposé dont je ne me dissimule nullement d'ailleurs l'aridité, puisqu'il ne s'agissait en somme que d'examiner des textes légaux et de les commenter quelque peu, les dispositions actuelles qui, en Belgique, ont été prises par les pouvoirs publics en vue de protéger la santé d'un des éléments les plus essentiels de son économie : les travailleurs industriels. Ce code sanitaire du travail est riche déjà et, observé par chacun, il écarterait bien des dangers, il éviterait bien des misères. Est-ce à dire qu'il soit complet et que nous puissions tourner la page ? Non assurément, car les progrès de la technique industrielle moderne sont incessants et prodigieux, les produits nouveaux manipulés, les transformations de plus en plus compliquées de la matière font naître des situations dangereuses inconnues hier. Il appartient à l'Etat de poursuivre, suivant une discipline prudente mais franchement progressive, les étapes qui s'ouvrent devant lui et qui se continuent en même temps que la science avance et évolue ; il doit assainir le champ du travail, et doit veiller, souvent en leur lieu et place et parfois contre eux, à la santé, le seul bien réel des ouvriers. Il ne faut plus, comme le disait déjà en 1701 Ramazzini, « que les métiers deviennent une source de maux pour ceux qui les exercent et que les artisans, trouvant les maladies les plus graves là où ils espéraient puiser le soutien de leur vie et celle de leur famille, meurent en maudissant leur ingrate profession ».

———

Statuts

BUT.

ARTICLE PREMIER. — Un Congrès National des Sciences est organisé en 1930 par la Fédération des Sociétés Scientifiques Belges, sous les auspices de la Commission Nationale du Centenaire.

Ce Congrès a pour objet de mettre en évidence l'état actuel de la recherche scientifique dans le pays et de montrer la part prise par les Belges au développement des sciences mathématiques, physiques, chimiques, naturelles et médicales.

DATE ET LIEU DE LA RÉUNION.

ART. 2. — Le Congrès se tiendra à Bruxelles, du dimanche 29 juin au mercredi 2 juillet 1930.

LANGUES OFFICIELLES.

ART. 3. — Les langues officielles du Congrès sont le français et le flamand. Les communications seront publiées dans la langue choisie par l'auteur.

CATÉGORIES DE MEMBRES.

ART. 4. — Le Congrès comprend des membres d'honneur, des membres effectifs et des membres adhérents. Les membres effectifs payent une cotisation de 100 francs, les membres adhérents une cotisation de 50 francs. Les membres d'honneur et les membres effectifs reçoivent seuls les Comptes rendus du Congrès. Tous les membres recevront un exemplaire de la Médaille Commémorative du Congrès.

ART. 5. — On adhère au Congrès en versant la cotisation au Compte Chèques postaux n° 271892 avec indication : Congrès National des Sciences Bruxelles 1930.

ORGANISATION.

ART. 6. — Le Bureau du Congrès est constitué par le Bureau de la Fédération.

Le Comité exécutif comprend, outre le Bureau du Congrès, un représentant de chacune des sections.

Art. 7. — Le Congrès comprend les sections suivantes :

1. Mathématiques. — 2. Physique. — 3. Chimie. — 4. Astronomie. — 5. Géophysique et Géodésie. — 6. Géologie. — 7. Botanique. — 8. Zoologie. — 9. Biologie générale. — 10. Anthropologie. — 11. Sciences médicales. — 12. Hygiène.

Les sections pourront se subdiviser en sous-sections.

Chaque section est organisée par le groupement scientifique désigné par la Fédération.

Art. 8. — Le Bureau de chaque section comprend un Président, des Vice-Présidents et un Secrétaire.

Art. 9. — Le Bureau du Congrès fixe l'ordre du jour des séances plénières.

Le Bureau de chaque section établit l'ordre du jour des séances de sa section. Plusieurs sections pourront se réunir pour entendre des communications d'intérêt commun.

Communications.

Art. 10. — Les communications doivent constituer des travaux inédits et de nature purement scientifique. Le temps accordé à un auteur pour l'exposé de son travail en section ne pourra dépasser quinze minutes, à moins que la section n'en décide autrement.

Le titre de chaque communication devra être envoyé au secrétaire de la section compétente au plus tard le 1er juin 1930 : le texte de chaque communication devra être dactylographié. Il sera remis au secrétaire de section, en double exemplaire, immédiatement après lecture ou développement de la communication.

Les manuscrits ne pourront dépasser qu'exceptionnellement l'espace de 1.500 mots. A sa demande formulée sur le manuscrit, chaque auteur pourra recevoir 25 tirés à part.

Art. 11. — Les communications peuvent être suivies d'une discussion dont la durée totale ne devra pas dépasser 10 minutes. Les membres qui prendront la parole dans une discussion disposent de 3 minutes et l'auteur de 5 minutes pour la réponse. Ils sont invités à remettre dans les 24 heures, au secrétariat de la section, un résumé de leurs observations qui pourra être publié.

Liste des Membres du Congrès

(A) Membres adhérents.

(D) Membres donateurs.

(H) Membres d'honneur.

Pour les membres ordinaires, il n'est indiqué aucune mention particulière.

Administration Communale de Saint-Gilles, Maison Communale.

MM. Aladin, Justin, Ingénieur, Président de l'Union des Cimenteries, 19, rue du Beau-Site, Bruxelles.

Albert, Docteur en médecine, 31, rue du Bois-l'Evêque, Liége.

Alexandre, Professeur à l'Athénée d'Ixelles, 70, rue de la Brasserie, Ixelles.

Alliaume, M., Professeur à l'Université de Louvain, 130, rue de Bruxelles, Louvain.

Angenot, Henri, Chimiste, 41, rue des Peintres, Anvers.

Antoine, Professeur à l'Ecole de Médecine vétérinaire, 8, avenue Hippolyte Limbourg, Anderlecht.

Arend, S., Observatoire Royal, Uccle.

Asselberghs, Etienne, Professeur à l'Université de Louvain, 119, avenue des Alliés, Louvain.

Backes, F., Assistant à l'Université de Gand, 29, rue Van Hulthem, Gand (A).

Badot, Julien, Docteur en médecine, 31, rue Wattelar, Jumet.

Baes, Louis, Professeur à l'Université de Bruxelles, 38, rue Emile Bouillot, Bruxelles (A).

Bain, J.-S., 247, avenue de la Reine, Bruxelles, IIe.

Balasse, G., Chargé de cours à l'Université de Bruxelles, 846, chaussée de Waterloo, Bruxelles.

Ball, Antoine, 160, rue Belliard, Bruxelles.

Ball, Francis, 160, rue Belliard, Bruxelles.

Mlle Barzin, Jeanne, 39, rue Emm. Van Driessche, Bruxelles (A).

MM. Baudrenghien, J., Chef de travaux à l'Université de Gand, 20, rue du Héron, Gand.

Bech, Docteur en médecine, Directeur du Service d'hygiène de la Ville de Bruxelles, 30, avenue du Petit Prince, Forest.

Beckers, Marcel, Assistant à l'Université de Bruxelles, 27, rue du Pacifique, Uccle.

MM. Becq, C., Assistant à l'Observatoire Royal, Uccle.
Beeli, Maurice, Collaborateur au Jardin botanique de l'Etat, 33, rue Berckmans, Bruxelles.
Beghein, Pierre, Docteur en médecine, 176, rue des Alliés, Forest.
Belfroid, J., Professeur à la Section d'Athénée, Neufchâteau.
Berger, Emile, Professeur à l'Athénée Royal d'Ath, 38, rue Haute, Ath.
Bernier, Henri, Professeur à l'Ecole Militaire, 44, avenue des Archiducs, Boitsfort.
Bertrand, Marcel, Professeur à l'Ecole Normale, Malonne.
Bessemans, Albert, Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Gand, 8, Coupure, Gand.
Beuckeleers-Donche, Merxem.
Bibliothèque de l'Université de Bruxelles.
MM. Bigwood, E.-J., Docteur en médecine, Chef de travaux à l'Université de Bruxelles, 17, rue Mignot-Delstanche, Bruxelles.
Billiet, Visscherij, 20*bis*, Gent.
Mlle Binard, Alice, Docteur en sciences, 101, rue Potagère, Bruxelles.
MM. Blum, F, Echevin de la commune de Schaerbeek, 52, avenue Ernest Renan, Schaerbeek.
Mlle Bodart, Elvire, 38, avenue du Longchamp, Uccle.
MM. Bogaert, Edouard, Professeur à l'Université de Bruxelles, 89, rue Emile Banning. Ixelles.
Boïarsky, Lazare, avocat, 1, rue Alphonse Hottat, Bruxelles.
Bordet, Jules, Directeur de l'Institut Pasteur du Brabant, Professeur à l'Université de Bruxelles, 28, rue du Remorqueur, à Bruxelles.
Born, F., Ingénieur, 178, rue de Liége, Verviers.
Bosquet, L., Directeur de l'Ecole Industrielle Supérieure, Mons.
Bouché, Georges, Docteur en médecine, 42, rue Africaine, Bruxelles.
Bouckaert, Jean, Docteur en médecine, Université de Gand (A).
Bouny, François, Professeur à l'Ecole des Mines de Mons, 61, rue du Mail, Bruxelles.
Bourgeois, Ed., Professeur à l'Université de Liége, à Embourg.
Bourgeois, Paul, Assistant à l'Observatoire Royal, 447, avenue Georges Henri, Woluwe-Saint-Lambert.
Brachet, Albert, Professeur à l'Université de Bruxelles, 91, rue Faider, Bruxelles.
Mlle Braecke, M., Assistante à l'Université de Bruxelles, 4, rue Van der Schrieck, Saint-Gilles.
MM. Brand, Eugène, Professeur à l'Université de Bruxelles, 2*a* rue des Petits Carmes, Bruxelles.
Brasseur, H., 212, rue Gustave Baivier, à Jemeppe-sur-Meuse.
Brasseur, Notaire, 40, rue Joseph II, Bruxelles.
Brekpot, R., Professeur à l'Université de Louvain, 14*a*, place du Peuple, Louvain.

MM. Bremer, Frédéric, Docteur en médecine, Chef de travaux à l'Université de Bruxelles, 9, rue Isidore Verheyden, Ixelles (A).

Breyre, C., Docteur en médecine, 6, rue des Augustins, Liége.

Brien, Paul, Professeur à l'Université de Bruxelles, 81, rue Maes, Ixelles.

Broerman, Eug., 2, place Antoine Delporte, Saint-Gilles.

Brull, L., Docteur en médecine, à Tongres.

Bruwier, Laurent, Professeur à l'Ecole des Mines de Mons, 265, rue Grande, Nimy-lez-Mons.

Bruylants, Pierre, Professeur à l'Université de Louvain, chaussée de Bruxelles, Winsele, Louvain.

Bruynoghe, R., Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Louvain, 96, rue Vital Decoster, Louvain.

Buchet, Pol, Professeur à l'Athénée Royal de Charleroi, 44, rue du Fort, Charleroi.

Mlle Bullot, Professeur de Section d'Athénée, 108, avenue Milcamps, Schaerbeek (A).

MM. Bureau, Jemeppe-sur-Meuse.

Burriel, Fernando, Docteur en Sciences, 70, rue Elise, Ixelles.

Buttgenbach, Henri, Professeur à l'Université de Liége, 439, avenue Louise, Bruxelles.

Camerman, Charles, Ingénieur, 16, Square Gutenberg, Bruxelles.

Cap, Léon (R. P.), 23, rue Van Diepenbeek, Anvers.

Castille, Armand, Professeur à l'Université de Louvain, 39, boulevard de Tirlemont, Louvain.

Castro-Rodriguez, G., 24, rue Maes, Ixelles.

Centrales Electriques des Flandres et du Brabant, 7, rue du Vieil Escaut, à Gand.

M. Chainaye, R., Professeur à l'Athénée Royal, Dinant.

Mej. Champion, 14, Keyser Karelstraat, Brugge.

MM. Chargois, Charles, Professeur à l'Université de Bruxelles, 11, rue de Praetere, Bruxelles.

Chavanne, Georges, Professeur à l'Université de Bruxelles, 82, rue Berckmans, Bruxelles.

Cleempoel, Fernand, Professeur à l'Athénée Royal d'Ixelles, 32, rue du Champ du Roy, Etterbeek.

Clinckaert, Ed., Geneesheer, Aalst.

Coelst, Maurice, Docteur en médecine, 2, avenue de l'Astronomie, Bruxelles.

Coenen, R., Professeur à l'Athénée Royal de Forest, 1062, chaussée de Waterloo, Uccle.

Collaert, Paul, Professeur à l'Athénée Royal de Malines, 17, canal d'Auweghem, Malines.

Conard, A., Professeur à l'Université de Bruxelles, 1850, chaussée de Wavre, Auderghem.

MM. Coppe, Professeur à l'Ecole des Cadets, 95, rue Mazy, Jambes.
Corin, François, Ingénieur géologue au Service géologique de Belgique, 8, rue Joseph Hazard, Uccle (A).
Coutrez, avenue du Hoef, 9, Uccle.
Cox, J.-F., Assistant à l'Université de Bruxelles, 139, avenue Adolphe Buyl, Ixelles.
Crabbé, Maurice, Professeur à l'Ecole Industrielle de Mons.
Crick, Lucien, 18, rue de l'Aurore, Bruxelles.
Crismer, Léon, Professeur émérite à l'Ecole Militaire, 39, rue Hobbema, Bruxelles.
Mlle Cuigniez, M., 10, boulevard du Hainaut, à Tournai.

MM. Dackweiler, H., Directeur du Laboratoire de Chimie de l'Armée, 10, avenue Marie Clotilde, Watermael.
Daels, Frans, Hoogleeraar te Gent, 99, Ste-Pietersnieuwstraat, Gent.
Dalcq, Albert, Professeur à l'Université de Bruxelles, 349, avenue Brugmann, Bruxelles (A).
Daubresse, E., Chef Adjoint du Bureau des Calculs à l'Institut Cartographique Militaire, La Cambre, Bruxelles.
Deaux, Roland, Professeur à l'Ecole des Mines de Mons, 47, chaussée de Binche, Mons.
Debaisieux, Paul, Professeur à l'Université de Louvain (A).
De Bast, Directeur de l'Institut Montefiore, 1, quai de la Grande-Bretagne, Liége.
De Beco, Lucien, Professeur à l'Université de Liége, 55, rue Louvrex, Liége (A).
De Beule, Fritz, Professeur à l'Université de Gand, 20, rue Longue du Verger, Gand.
De Boeck, Henri, Avocat, 48, rue des Minimes, Bruxelles (A).
De Brabandere, Antoon, Leeraar, 47, Generaal Lemanstraat, Assebroeck-Brugge.
Mlle de Brouckère, Lucie, Assistante à l'Université de Bruxelles, 158, avenue Lambeau, Woluwe-Saint-Lambert.
MM. De Bruyne, Kamiel, Hoogleeraar te Gent, 19, boulevard du Fort, Gand.
De Ceuster, Paul, Meerschstraat, 37, Gent.
De Clerck, L., Assistant à l'Observatoire Royal, Uccle.
Decroly, Claude, Ingénieur, 2, rue Vossegat, Uccle.
Mej. De Cuyper, 52, Oostmeersch, Brugge.
MM. De Decker, M., 49, rue Kronenburg, Anvers.
De Dobbeleer, Fred., 203, rue Royale, Bruxelles.
De Donder, Théophile, Professeur à l'Université de Bruxelles, 5, rue de l'Aurore, Bruxelles (A).
de Gerlache de Gomery (baron), Directeur général de la Marine, 123, chaussée de Vleurgat, Bruxelles (H).
De Graef, Henri, Assistant à l'Université de Bruxelles, 130, avenue de la Floride, Uccle.

MM. DE HALLEUX, Alphonse, 24, place Saint-Jacques, Verviers.
DEHALU, M., Administrateur-Inspecteur de l'Université, 7, Avenue de Cointe, Sclessin.
DE HEMPTINNE, Alexandre, (comte), Professeur à l'Université de Louvain, 47, rue Basse des Champs, Gand (H).
DE HEMPTINNE, Marc, Professeur à l'Université de Louvain, 47, rue Basse des Champs, Gand.
DEJARDIN, Carlos, Administrateur délégué de la Compagnie générale d'Hygiène, 87, rue Belliard, Bruxelles.
DEJONGHE, Josse, boulevard de Smet de Nayer, 522, Bruxelles.
M[lle] DE JOSÉ, 34, rue de Virton, Arlon.
MM. DE KEZEL, Achille, 59, avenue des Alliés, Louvain.
DEKEYSER, Léon, Docteur en médecine, 9, rue des Sablons, Bruxelles.
DELADRIÈRE, Lieutenant, 22, avenue Van Ranst, Vieux-Dieu, Anvers.
M[lle] DE LANNAY, Suzanne, Professeur au Lycée de Schaerbeek, 183, avenue Milcamps, Schaerbeek (A).
MM. DE LA VALLÉE POUSSIN, Ch., (baron), Professeur à l'Université de Louvain, 169, avenue des Alliés, Louvain (H).
DELLA RICCIA, A., Ingénieur, 253, chaussée d'Alsemberg, Forest.
M[lles] DELCOMBE, Ecole Normale, Arlon.
DELCOURT, Yvonne, Docteur en Sciences, 67, avenue Clemenceau, Bruxelles.
MM. DELCOURT, André, Ingénieur, A. I. Lg., Heusy-Verviers.
DELEGHER, Albert, Professeur à l'Athénée de Tirlemont, 22, rue Gustave Huberti, Schaerbeek.
DE LE PAULLE, Directeur Général de la Société Continentale du Gaz, 94, avenue Brugmann, Bruxelles.
DELEU, Louis, 31, rue des Pierres, Bruges.
DELGLEIZE, A., Assistant à l'Université de Liége, Hermée, Liége (A).
DELHAYE, 41, rue Henri Waffelaers, Bruxelles.
DE LOË, Alfred, (baron), 114, avenue de l'Armée, Etterbeek.
DELPORTE, Eugène, Astronome à l'Observatoire Royal, 76, rue Verhulst, Uccle.
DELREZ, L., Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Liége, 5, avenue Albert Mahiels, Liége.
DELVIGNE, R., Collège Notre-Dame de la Paix, Namur (A).
DELVOSAL, J., Astronome à l'Observatoire Royal, Uccle (A).
DEMANET, F., Conservateur adjoint au Musée d'Histoire Naturelle, 31, rue Vautier, Ixelles.
DE MEYER, J., Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Bruxelles, 9, rue Thérésienne, Bruxelles.
DEMOOR, Jean, Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Bruxelles, 61, rue Belliard, Bruxelles.
DEMOULIN, C. Professeur à l'Université de Gand, 36, rue Van Hulthem, Gand.
DE MUNCK, E., 2*a*, chemin Ducal, Tervueren.

MM. De Muylder, Gérard, Chirurgien adjoint des Hôpitaux, 40, rue du Nord, Bruxelles.

de Muynck, P., Professeur à l'Université de Louvain, 8, place Saint-Jacques, Louvain.

Denamur, Marcel, Chimiste, 7, rue des Francs, Bruxelles.

Denis, Edouard, 94, rue de Ten-Bosch, Bruxelles.

Denis, Henri, Lieutenant-Général, 94, rue de Ten-Bosch, Bruxelles.

de Pierpont, Membre de la Chambre des Représentants, Rivière.

Deporre, Walther, 63, Marie-José Laan, Blankenberghe.

de Puydt, Marcel, 27, avenue Isabelle, Anvers.

Dermul, A., 70, rue Solvyns, Anvers.

Derom, Em., Docteur en médecine, 168, chaussée de Courtrai, Gand.

De Rom, Firmin, Docteur en médecine, Agrégé à l'Université de Gand, 61, Brittanje laan, Gent.

de Roy, Félix, 26, rue Herry, Deurne (Anvers).

Derscheid, Gustave, Docteur en médecine, 59, rue de Stassart, Ixelles.

Derscheid, Jean-Marie, Docteur en médecine, Secrétaire général du Parc national Albert (Kivu), 9, rue d'Egmont, Bruxelles.

Deruyts, J., Professeur à l'Université, 37, rue Louvrex, Liége.

de Saedeleer, A., Leeraar, Koninklijk Atheneum, 49, Generaal Lemanstraat, Assebroeck.

de Selliers de Moranville (chevalier), Lieutenant-Général, Aide-de-Camp du Roi, 152, avenue Molière, Bruxelles.

de Selys Longchamps, Marc, Professeur à l'Université de Bruxelles, 61, avenue Jean Linden, Bruxelles.

De Smedt, Joseph, Professeur à l'Université de Louvain, 32, rue des Joyeuses Entrées, Louvain (A).

De Smet, Léon, 20, rue du Bac, Gand.

Mlle Destamberg, Marcelle, Professeur à l'Athénée de Diest.

MM. De Stella, Hector, Hoogleeraar te Gent, Koningstraat, 16, Gent.

Devadder, Edmond, 72, rue du Nord, Bruxelles.

de Vaucleroy, 45, rue Jean-Baptiste Meunier, Uccle.

Mme de Vaucleroy, 45, rue Jean-Baptiste Meunier, Uccle (A).

MM. Devillers, Albert, Professeur à l'Athénée d'Ath, 10, rue Defacqz, Ath.

de Vlamynck, Henri, Chirurgien dentiste, 70, boulevard de Waterloo, Bruxelles.

De Vloo, R., Docteur en médecine, Anvers.

De Waele, Chef de travaux à l'Université de Gand, 57[3], Pieter Cockestraat, Aalst (A).

De Walsche, L., Docteur en médecine, Assistant à l'Université de Bruxelles, 13, rue Stallaert, Bruxelles.

MM. Deweck, M., Professeur à la Section d'Athénée de Jodoigne, 11, rue du Marché, Jodoigne.

De Wildeman, E., Professeur à l'Université de Gand, Directeur du Jardin botanique de l'Etat, 122, rue des Confédérés, Bruxelles.

de Winiwarter, H., Professeur à l'Université de Liége, 22, rue du Jardin Botanique, Liége.

de Witte, Gaston, Attaché au Musée du Congo Belge (Tervueren), 203, avenue de la Chasse, Etterbeek.

Dierckx, (R. P.), Professeur au Collège Notre-Dame de la Paix, Namur (A).

Divry, Paul, Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Liége, 11, avenue Blonden, Liége.

d'Hollander, Fernand, Professeur à l'Université de Louvain, 80, rue Vital Decoster, Louvain.

d'Olieslager, 98, rue de Namur, Louvain.

Dony-Hénault, O., Professeur à l'Université de Bruxelles, 30, rue Emile Banning, Bruxelles.

Dopp, H., (R. P.), Collège Saint-Jean Berchmans, Eegenhoven, Louvain (A).

d'Orchymont, Conservateur au Musée d'Histoire Naturelle, 31, rue Vautier, Ixelles.

Mme d'Orchymont, 172, avenue Houba de Strooper, Bruxelles, IIe (A).

MM. Dordu, Fabien, Docteur en médecine, 48, rue d'Arlon, Bruxelles.

Dourlet, Achille, 16, rue du Palais, Charleroi.

Drapier, Jean, 44, rue de la Régence, Bruxelles.

Dropsy, 1, rue du Spectacle, Ath.

Drumaux, P., Professeur à l'Université de Gand, 13, avenue Clémentine, Gand.

Dubois, Albert, Docteur en médecine, 165, rue Antoine Bréart, Saint-Gilles.

Dufrane, Abel, Ingénieur, Frameries.

Dujardin, B., Docteur en médecine, 87, rue d'Arlon, Bruxelles.

Dulière, Docteur en médecine, Fondation Reine Elisabeth, Hôpital Brugmann, Jette-Saint-Pierre (A).

Dumez, Robert, Diocesaan Opziener, Bestuurder van het Laboratorium, Roselaere.

Dumont, A., Hoogleeraar te Leuven, Naamsche Steenweg, Heverlé, Leuven.

Dupont, Paul, Industriel, 30, avenue Hamoir, Uccle.

Duprez, Christophe, Docteur en médecine, 60, rue de la Victoire, Bruxelles.

Durcin, Lucien, 207, avenue des Petits Coqs, Anvers.

Dusart, Professeur à l'Athénée Royal de Tirlemont, 18, rue de la Station, Tirlemont.

Dustin, A., Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Bruxelles, 62, rue Berckmans, Bruxelles.

Dutry, Fidèle, 239, Chaussée de Boendael, Ixelles (A).

Ecole de Médecine Vétérinaire de l'Etat, 45, rue des Vétérinaires, Cureghem.
Ecole d'Horticulture de l'Etat, à Vilvorde.
MM. Ensch, Norbert, Docteur en médecine, 36, avenue Voltaire, Schaerbeek (A).
Erculisse, Paul, Professeur à l'Université de Bruxelles, 215, rue du Trône, Ixelles (A).
Errera, Alfred, Professeur à l'Université de Bruxelles, 1039, chaussée de Waterloo, Uccle.
Errera, Jacques, Professeur à l'Université de Bruxelles, 14, rue Royale, Bruxelles.
Mlle Evrard, Elvire, Régente à l'Ecole moyenne, Chaussée de Charleroi, 87, à Montigny-s/Sambre.

MM. Fazzi, Armand, 326, rue des Moineaux, Gand.
Fievet, Achille, Chimiste, 150, rue Vaudrée, Angleur.
Firket, Guillaume, Ingénieur, 113, rue Stévin, Bruxelles.
Firket, J., Professeur à l'Université de Liége, 21, rue des Anges, Liége.
Flamand, Fernand, Ingénieur commercial, 322-324, rue des Alliés, Forest (A).
Fondation Universitaire, 11, rue d'Egmont, Bruxelles.
MM. Fouarge, L., Professeur à l'Université de Liége, Rabosée, Wandre.
Fourmarier, Paul, Professeur à l'Université de Liége, 140, avenue de l'Observatoire, Liége.
Fraipont, Charles, Professeur à l'Université de Liége, 20, rue Lambert le Bègue, Liége.
Franck, A., 9, Grand'rue, Virton.
Francqui, Em., Ministre d'Etat, 60, avenue Louise, Bruxelles (H).
Fransen, Leeraar, 14, Parklaan, Gent (A).
Franskosky, Ingénieur, 3, avenue des Maronniers, Anvers.
Frédéricq, Léon, Professeur émérite à l'Université de Liége, 7, rue Saint-Jacques, Liége (H).
Frerichs, Charles, Ingénieur, 21, rue Gachard, Bruxelles.
Freyens, A. Jehanster, Polleur.
Frison, Maurice, Membre du Conseil supérieur d'Hygiène, 37, rue Lebeau, Bruxelles.
Mlle Fritsché, E., Professeur au Lycée, à Seraing.

MM. Galand, L., 169, rue Gérard, Etterbeek (A).
Galopin, Ingénieur, 30, boulevard Saint-Michel, Bruxelles (D).
Gengou, Octave, Professeur à l'Université de Bruxelles, 75, avenue de l'Opale, Schaerbeek.
Goche, Omer, Assistant à l'Université de Bruxelles, 88, avenue Adolphe Buyl, Ixelles.

MM. GERMAY, R.-H., Chargé de cours à l'Université de Liége, 74, Cahorday, Wandre.

GESSLER, Jean, Professeur à l'Athénée et à l'Université de Louvain, 84, boulevard de Jodoigne, Louvain (A).

GHEUDE, Gabriel, Chimiste, Société Métallurgique de Hoboken, Mess des Ingénieurs B, Oolen (Turnhout).

GHION, G., Professeur à la Section normale moyenne de l'Etat, Tournai.

GHYSEN, J., Professeur à la Section d'Athénée, Mons, 6*bis*, rue de Bouzanton, Mons.

GEELEN, M., Leeraar, 107, Maestrichtstraat, Hasselt.

Mlle GILBERT, Suzanne, Candidate en Sciences Naturelles, 48, rue de Bordeaux, Saint-Gilles.

MM. GILLES, Chef du Service d'Hygiène, Ougrée.

GILLET, Alfred, Professeur à l'Université de Liége, 25, rue Bassenge, Liége (A).

GILLET, E., Préfet des Etudes, Athénée Royal, Bouillon.

GILLEROT, Robert, 54, rue du Noyer, Bruxelles.

GILLIS, J., Hoogleeraar te Gent, 175, Albertlaan, Gent.

GILTA, G., Chef de travaux à l'Université de Bruxelles, 163, rue des Carmélites, Uccle.

GILTAY, L., Conservateur adjoint au Musée d'Histoire naturelle, 31, rue Vautier, Ixelles.

GODEAUX, Lucien, Professeur à l'Université de Liége, 75, rue Frédéric Nyst, Liége.

GODEAU, Robert, Assistant à l'Université de Bruxelles, 27, rue Van Campenhout, Bruxelles (A).

Mme GODEAU-SIMONIS, Professeur à la Section d'Athénée d'Ixelles, 27, rue Van Campenhout, Bruxelles.

MM. GOETGEBUER, 41, rue Neuve Saint-Jacques, Gand.

GOFFART, Fernand, Ingénieur, quai du Condroz, Angleur.

GOORMAGHTIGH, B., Professeur à l'Université de Gand. 53. boulevard Charles de Kerckhove, Gand.

GOOSSENS, Aide-naturaliste au Musée d'Histoire Naturelle, 31, rue Vautier, Ixelles.

GOSSE, Paulin, Professeur à l'Ecole Industrielle Supérieure de Mons,

GOUBEAU, René, Professeur à l'Université de Gand, 8, place de la Liberté, Gand.

le Gouverneur du Hainaut, à Mons.

GOVAERT, Assistent aan de Hoogeschool, 44, boulevard de l'Industrie, Gent (A).

GOVAERTS, Paul, Chargé de cours à l'Université de Bruxelles, 24, rue Marie-Thérèse, Bruxelles.

GRAFTIAU, Jean, Directeur principal honoraire du Laboratoire de l'Etat, 74, boulevard de Diest, Louvain.

GRANJEAN, Henri, Professeur à l'Athénée Royal, Arlon.

MM. GRAVIS, Professeur émérite à l'Université de Liége, 22, rue Fusch, Liége.
GRÉGOIRE, A., Directeur de la Station de Chimie et de Physique agricoles de l'Etat, Gembloux.
GRÉGOIRE, Chanoine, Professeur à l'Université de Louvain, Institut Carnoy, Louvain.
Mlle GREMLING, 18, rue de Diekirch, Arlon.
MM. GUEBEN, Georges, Chef de travaux à l'Université de Liége, 50, rue des Wallons, Liége (A).
GUEUNING, Louis, Professeur, Arlon (A).
GUNZ, P., Docteur en médecine, 8, rue Vital Decoster, Louvain.

HACHEZ, Fernand, Professeur à l'Université de Louvain, 19, rue de Pavie, Bruxelles.
HANKAR-URBAN, Administrateur Général de la Société des Carrières de Porphyre à Quenast, 17, place de l'Industrie, Ixelles (A).
Mlles HANNEVART, Germaine, Docteur en Sciences Biologiques, 109, rue Général Gratry, Bruxelles.
HANQUINIAUX, 14, rue Mercelis, Ixelles
M. HANSSEN, Pieter, Steenweg Leuven, Coggurme, Diest.
Mlle HARTOG, 68 A, Chaussée de Charleroi, Bruxelles (A).
MM. HASSE, G., Docteur en médecine vétérinaire, 42, avenue du Cardinal Mercier, Berchem (Anvers).
HAUMAN, Lucien, Professeur à l'Université de Bruxelles, 16, rue des Bollandistes, Bruxelles.
HECQ, Arthur, Professeur à l'Ecole Industrielle de Morlanwelz.
HEINS, Gaston, 12, rue Everard, Forest.
HELMI, Mahmoud, Docteur en Sciences, 4, rue Refat Abbassya, Le Caire, Egypte.
HENNET, Robert, Major d'artillerie de réserve, 65, rue Defacqz, Bruxelles.
HENRAUT, Marcel, Professeur à l'Athénée de Charleroi et à l'Université du Travail, 81, rue de Chenois, Lodelinsart.
HENRIOT, E., Professeur à l'Université de Bruxelles, 232, avenue Rogier, Schaerbeek.
Mme HENRIOT, E., Professeur au Lycée de Schaerbeek, 232, avenue Rogier, Schaerbeek.
Mlle HENROTIN, 12, rue de l'Orneau, Gembloux.
MM. HENRY, Josse, 20, rue Marie-Thérèse, Louvain.
HENRY, R.-A., Ingénieur A. I. Lg., Micheroux.
HERBIET, Professeur à l'Ecole des Cadets, avenue de Salzinnes, Namur.
HERMAN, Docteur en médecine, Président de l'Académie de Médecine, 6, rue des Gages, Mons (H).
HEUCHAMPS, Professeur à l'Athénée Royal, Dinant.
HEULLE, Capitaine, Professeur à l'Ecole Militaire, Bruxelles.
HEUPGEN, Georges, 10, rue du Grand Quievroy, Mons.

MM. Heymans, C., Professeur à l'Université de Gand, 57, quai des Moines, Gand.

Hiernaux, J., Directeur de l'Université du Travail, Charleroi.

Mme Hock-Goron, 127, avenue de la Floride, Uccle (A).

MM. Hoet, Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Louvain, Coorbeek-Loo.

Homès, Georges, Chargé de cours à l'Université de Bruxelles, 22 *a*, rue du Mail, Bruxelles.

Mme Homès, M., 7, rue Darwin, Bruxelles.

MM. Homès, Marcel, Assistant à l'Université, 7, rue Darwin, Bruxelles.

Houzeau de Lehaie, Ermitage, Mons.

Hovine, B., 28, avenue Prekelinden, Woluwe-Saint-Lambert.

Huybrechts, Maurice, Professeur à l'Université de Liége, 5, rue de Chestret, Liége.

Institul Geologic Al Romaniei, chaussée Kiseleff, Bucarest, Roumanie.

MM. Jacqué, Léon, Professeur à l'Université de Bruxelles, 35, rue des Six Aunes, Bruxelles.

Jacquemin, Professeur à l'Athénée de Verviers, 128, rue Bois-l'Evêque, Liége.

Jacques, P., Professeur à l'Athénée de Tirlemont, 128, rue Gilain, Tirlemont.

Jadot, Lambert, Ingénieur, 15, rue du Bourgmestre, Ixelles.

Jadoul, Joseph, 11, avenue du Luxembourg, Liége.

Janne, Henry, Professeur à l'Université de Liége, 37, rue des Augustins, Liége

Jaumain, D., 74, rue Veydt, Bruxelles.

Jaumotte, Jules, Directeur de l'Institut météorologique, 3, avenue Circulaire, Uccle.

Jeunehomme, Edgard, Professeur à l'Athénée Royal, 27, rue de Selys, Liége.

Mlle Jodogne, Section d'Athénée de Molenbeek, 5, avenue Galilée, Bruxelles.

MM. Juliard, A., Assistant à l'Université de Bruxelles, 70, rue Faider, Bruxelles.

Kaisin, F., Professeur à l'Université de Louvain.

Kickx, Jean, Directeur du Laboratoire d'Analyses de l'Etat, 154, rue Heyveld, Mont-Saint-Amand, Gand.

Mlle Kimpe, 38, rue Bertrand, Andenne.

MM. Klein, Président de l'Institut Grand-Ducal des Sciences, 20, boulevard Extérieur, Luxembourg.

Kraïtchik, Maurice, Ingénieur, 73, rue Philippe Baucq, Bruxelles.

Mlle Kremer, Mariette, 3, rue du Pôle, Bruxelles (A).

M. Kufferath, Hubert Directeur du Laboratoire Intercommunal, 20, rue Joseph II, Bruxelles.

MM. Labarre, J., Docteur en médecine, Chef de travaux à l'Université de Bruxelles, 76, rue Mercelis, Bruxelles.

Mlle Lacourt, A., Assistante à l'Université de Bruxelles, 68, rue Charles-Quint, Bruxelles.

MM. Lagrange, Eug., Professeur émérite à l'Ecole Militaire, 60, rue des Champs Elysées, Ixelles.

Lambin, P., Docteur en médecine, 2, rue du Manège, Louvain.

Lameere, Auguste, Professeur à l'Université de Bruxelles, 74, rue Defacqz, Bruxelles.

Langelez, A., Docteur en médecine, 9, rue de la Mutualité, Forest (A).

Lathouwers, Professeur à l'Institut Agronomique, Gembloux (A).

Lebrun, Ivan, Docteur en Sciences chimiques, 1 *a*, rue Louis Heymans, Bruxelles (A).

Lecat, Maurice, 181, Chaussée de Malines, Hérent, Louvain.

Lecca (baron), 12, avenue des Eperons d'Or, Ixelles.

Mlle Leclercq, S., Chef de travaux à l'Université de Liége, 96, rue de Hesbaye, Liége (A).

MM. Lecrenier, Ad., Directeur technique des Cristalleries du Val-Saint-Lambert, Liége.

Ledoux, P., Docteur en Sciences, Administrateur de l'Institut botanique Léo Errera, 40, rue Botanique, Bruxelles.

Ledrus, René, Professeur à l'Ecole des Mines, Mons, 116, avenue Louis Lepoutre, Bruxelles (A).

Lefebure, Charles, Ingénieur, 81, avenue Louis Lepoutre, Bruxelles.

Lefèvre, A., Assistant à l'Université de Louvain, 18, rue des Joyeuses Entrées, Louvain (A).

Lefèvre, Albert, Professeur à l'Ecole Militaire, 110, rue de la Consolation, Bruxelles.

Legros, Marcel, 17, rue des Moineaux, Liége.

Mlle Lejour, Ecole Normale, Arlon.

MM. Lelubre, Georges, Professeur à l'Athénée Royal, Tournai.

Lemaire, Albert, Docteur en médecine, 17, rue Léopold, Louvain.

Mme Lemaire-Marchandise, Liége.

MM. Lemaître, Georges, (Abbé), Professeur à l'Université de Louvain, 40, rue de Namur, Louvain.

Lembrechts, A., Hoogleeraar te Gent, 19, rue Longue des Bruyères, Mechelen.

Mme Lentrein, 221, avenue Brugmann, Bruxelles.

MM. Lepage, Th., Assistant à l'Université de Liége, Mabompré.

Leplat, Georges, Docteur en Chef du Service Ophthalmologique de l'Assistance publique, 19, rue des Anges, Liége.

Lepouse, Hector, Docteur en Sciences, 130, rue Masui, Bruxelles.

Leriche, Maurice, Professeur à l'Université de Bruxelles, 123, avenue Montjoie, Uccle.

Mlle Lesent, Alice, Professeur, 65, rue de la Source, Saint-Gilles (A).

MM. Lesseliers, Ed., Docteur en médecine, 18, Longue rue du Marais, Gand.

Letroye, A., Chef du Bureau des Calculs géodésiques à l'Institut Cartographique Militaire, Ohain.

Ley, Auguste, Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Bruxelles, 9, avenue Fond-Roy, Uccle.

L'Hoest, M., Directeur du Jardin Zoologique, 26, place de la Gare, Anvers.

Mme Libois-Lebon, Laure, Professeur au Lycée communal d'Ixelles, 31, rue de la Brasserie, Ixelles.

MM. Libois, Paul, Assistant à l'Université de Bruxelles, 31, rue de la Brasserie, Ixelles.

Lippens, Raymond, 25, rue Caroly, Ixelles (A).

Lippert, N., 125, rue Simon Lobet, Verviers.

Listray, A., 69, rue des Palais, Verviers.

Lonay, H., Professeur à l'Université de Liége, 24, rue Wazon, Liége (A).

Loosfeld, Emile, Docteur en médecine, 270, rue Royale, Bruxelles.

Lorent, Henri, Directeur de l'Ecole Normale Provinciale, Morlanwelz.

Lorthioir, Docteur en médecine, rue Faider, Bruxelles.

Lucas, (R. P.), Professeur au Collège Notre-Dame-de-la-Paix, Namur.

Maes, Oscar, Chef de service à l'Hôpital de Saint-Josse-ten-Noode, 51, rue Eeckelaers, Saint-Josse-ten-Noode.

Mlle Maes, R., Docteur en Sciences, 51, rue Eeckelaers, Saint-Josse-ten-Noode (A).

MM. Mage, Colonel, Professeur à l'Ecole Militaire, Bruxelles.

Maillieux, Eugène, Conservateur au Musée d'Histoire Naturelle, 189, boulevard du Souverain, Auderghem.

Maisin, Professeur à l'Université de Louvain, Chemin des Capucins, Louvain.

Mamet, Oscar, 10, avenue Elisabeth, Tervueren.

Manneback, Ch., Professeur à l'Université de Louvain, 27, rue de la Tourelle, Etterbeek.

Maquet, J., Directeur Général de l'Œuvre Nationale de l'Enfance, 67, avenue de la Toison d'Or, Bruxelles.

Marchal, Emile, Professeur à l'Institut Agronomique, 46, chaussée de Namur, Gembloux (H).

Maréchal, J., Professeur à l'Athénée Royal, 48, rue de Campine, Liége.

Maricq, Louis, Assistant à l'Université de Bruxelles, 16, rue du Zéphyr, Woluwe-Saint-Lambert.

Marinus, Albert, 12, Vieille-Halle-aux-Blés, Bruxelles.

Mariscal, L., Professeur à la Section d'Athénée, Soignies, 34, rue d'Enghien, Soignies.

MM. Maroye, Louis, Docteur en médecine, 4, boulevard Saint-Michel, Bruxelles.

Martin, Georges, Professeur à l'Athénée Royal de Bruxelles, 11, rue de la Rotonde, Woluwe-Saint-Lambert.

Massart, Rodolphe, Professeur à l'Athénée Royal d'Ixelles, 36, rue du Beffroi, Bruxelles.

Masson, Fulgence, Avocat, 3, rue de la Grande Triperie, Mons (A).

Mat, Ernest, 8, rue d'Idalie, Ixelles.

Maury, J., Professeur à l'Ecole Militaire, 73, avenue de l'Opale, Bruxelles.

Mayné, R., Professeur à l'Institut agronomique de Gembloux, 17, avenue Macau, Ixelles (A).

Meersch, (R. P.), Collège Saint-Jean-Berchmans, Eegenhoven, Louvain.

Meheus, A., 3, Metdepenningenstraat, Gent.

Meirsman, Camille, 42, rue de l'Ecole, Tamise.

Mlle Mendeleëff, P., Assistante à l'Université, 16, rue Charles Martel, Bruxelles (A).

MM. Merlin, Emile, Professeur à l'Université de Gand, 11, rue d'Ostende, Gand.

Meuleman, Médecin Hygiéniste Bactériologiste au Laboratoire Intercommunal, 21, avenue Auguste Rodin, Bruxelles (A).

Michiels, L., Professeur à l'Université de Louvain, 150, rue Frédéric Lints, Louvain.

Michot, Pierre, Ingénieur Géologue, Assistant à l'Université de Liége, 34, impasse Lacroix, Liége.

Michotte, P.-L., Professeur à l'Université de Louvain, 2, rue des Doyens, Louvain (A).

Mme Minette d'Oulhaye, (comtesse), 42, rue Belliard, Bruxelles (A).

MM. Mineur, Adolphe, Professeur à l'Université de Bruxelles, 23, rue Joseph Stallaert, Bruxelles.

Minnaert, Paul, 5, avenue Reine Marie-Henriette, Forest (A).

Moltke-Hansen, Ivar, 13, rue Bréderode, Bruxelles.

Mommaerts, G., Professeur à l'Athénée Royal, 9, rue de Henis, Tongres.

Moons, Em., Docteur en médecine, 219, avenue d'Italie, Anvers.

Moreau, Ferdinand, Astronome à l'Observatoire Royal, 14, avenue Brunard, Uccle.

Mortelmans, Georges, 48, rue Morel, Tournai (A).

Mortier, Florent, Professeur, 14, avenue des Villas, Saint-Gilles (A).

Motmans, Léon, Chimiste, 212-214, chaussée de Waterloo, Bruxelles.

Muller, Professeur à l'Athénée d'Ixelles, 25, square Gutenberg, Bruxelles.

Mund, W., Professeur à l'Université de Louvain, 32, rue de Bériot, Louvain.

MM. Naveau, R., 272, Beeldenkensstraat, Antwerpen.
Navez, Léon, Professeur à l'Ecole des Textiles de Verviers.
Navez, A., C. R. B. Educational Foundation, 41, boulevard Bisschoffsheim, Bruxelles.
Navez, O., Professeur à l'Ecole de Médecine Vétérinaire, 75, avenue Wielemans Ceuppens, Forest.
Neefs, Félix, Lieutenant-Général, Commandant de l'Ecole Militaire, 31, avenue de la Renaissance, Bruxelles.
Neuman, Fernand, Docteur en Médecine, 27, rue Wynants, Bruxelles.

Mme Ney, Ecole normale de l'Etat, Arlon.

MM. Nicaise, Charles, Professeur à l'Athénée d'Ixelles, 9, rue de l'Ecuelle, Bruxelles.
Noël, Lucien, 52, rue de la Clinique, Bruxelles.
Nolf, Pierre, Professeur à l'Université de Liége, Directeur de la Fondation Reine Elisabeth, 51, rue Stevens Delannoy, Bruxelles.
Nuyens, Maurice, Assistant à l'Université, 11, place Van Meenen, Saint-Gilles.
Nyen, W., Ingénieur, 10, avenue Jean Volders. Saint-Gilles.
Nyssens, A., 45, rue Victor Greyson, Ixelles (A).
Nys, L., Professeur, 30, avenue des Coteaux, Grivegnée.

Orman, Emile, Professeur à l'Université de Louvain, Louvain.
Oudenne, Maurice, Major du Génie, 73, avenue du Suffrage Universel, Schaerbeek.

Pauwels, Ferdinand, 31, boulevard Poincaré, Bruxelles.
Pauwels, (R. P.), Professeur au Collège Notre-Dame-de-la-Paix, Namur (A).
Peeters, Fernand, Professeur à l'Athénée Royal, 20, rue de Namur, Louvain.
Pelseneer, Paul, Secrétaire perpétuel de l'Académie Royale, 35, rue de la Longue-Haie, Ixelles.
Peny, G., 12, rue Emile Claus, Bruxelles.
Peremans, Maurice, Docteur en médecine, 116, avenue de Belgique, Anvers.
Philippson, Maurice, Professeur honoraire à l'Université, 57, rue d'Arlon, Bruxelles.
Pinkus, Alexandre, Professeur à l'Université de Bruxelles, 20, avenue Louise,. Bruxelles.
Piron, Alfred, Professeur à l'Athénée Royal de Bruxelles, 100, rue Rodenbach, Forest.
Pommier, Hippolyte, Ingénieur, 125, avenue de Longchamp, Uccle (A).

Mlles Portmans, Marcelle, Professeur à la Section d'Athénée, Ecole moyenne des Filles, Ixelles.
Pourbaix, N. Willebroeck.

MM. Poutrain, 20, rue des Chevaliers, Bruxelles.
Putzeys, P., Professeur à l'Université de Louvain, 26*a*, boulevard de Tirlemont, Louvain.

Querton, Louis, Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Bruxelles, 77, boulevard Brand Whitlock, Bruxelles.
Quignon, Georges, Docteur en médecine, boulevard Elisabeth, Mons.

Racheneur, Fernand, Ingénieur des Mines, Wasmes.
Raeymaekers, Médecin Général, 74, boulevard des Martyrs, Gand.
Rahir, Edmond, 116, rue de la Limite, Bruxelles.
Remacle, 15, rue du Chemin Morel, Virton Saint-Mard.
Remy, E., Directeur de l'Ecole Supérieure de Navigation Maritime, Anvers.
Renard, Clément, Professeur à l'Athénée, 62, rue de l'Eléphant, Gand.
Renard, J., Professeur à l'Athénée Royal, Tirlemont.
Renaux, Ernest, Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Bruxelles, 22, avenue de la Ramée, Uccle.
Renier, Armand, Chef du Service Géologique, 110, avenue de l'Armée, Bruxelles.
Rens, R., Leeraar, Koninklijk Atheneum, Antwerpen.
Rerat, (R. P.), Professeur au Collège du Cœur Eucharistique, Esschen.
Richet, E., Ingénieur, 581, Avenue Brugmann, Uccle.
Rigaux, F., Assistant à l'Observatoire d'Uccle, 115, rue Antoine Gauthier, Bruxelles (A).

Mlle Ringoot, Rosa, Régente, 52, avenue Renan, Schaerbeek.

MM. Robert, M., Professeur à l'Université de Bruxelles, 210, avenue Molière, Bruxelles.
Robyns, Walter, Conservateur au Jardin botanique de l'Etat (Bruxelles), 149, rue Marie-Thérèse, Louvain.
Rochet, Aug., Professeur à l'Ecole Industrielle Supérieure, Mons.
Rodhain, J., Docteur en médecine, Directeur de l'Ecole de médecine tropicale, 564, Chaussée de Waterloo, Bruxelles.

Mlle Roelandt, Professeur au Lycée Communal, Ixelles.
Roggeman, A., 115, rue Van Schoor, Schaerbeek.
Rooman, Fernand, 37, rue Montoyer, Bruxelles.

Mlle Roost, J., 63*a*, rue Edith Cavell, Uccle.

MM. Rose, Jean, Professeur à l'Athénée Royal d'Ixelles, 120, avenue Lambeau, Woluwe-Saint-Lambert.
Roskam, J., Chargé de cours à l'Université de Liége, 16, rue Beckman, Liége.
Rouma, G., 8, avenue de la Brabançonne, Bruxelles.
Rousseau, Désiré, Professeur à l'Athénée Royal de Bruxelles, 50, avenue des Sept Bonniers, Uccle.

MM. Rubay, Pierre, Recteur de l'Ecole de Médecine Vétérinaire, 187, rue Antoine Bréart, Saint-Gilles.
Rutot, A., Ingénieur Géologue, Conservateur honoraire du Musée d'Histoire naturelle, 189, rue de la Loi, Bruxelles.
Ruyssen, Doktor in Wetenschappen, 18, Witte Nonnenstraat, Oostende.

Schons, N., Professeur à l'Ecole Normale, Malonne.
Mlle Schouls, G., 44, avenue des Rogations, Woluwe-Saint-Lambert (A).
Mme Schouteden, Henri, Pavillon du Musée du Congo belge, Tervueren (A).
MM. Schouteden-Wéry, Directeur du Musée du Congo belge, Tervueren.
Schraenen, W., 107, rue Goffart, Bruxelles.
Schuyten, M.-C. Dokter, 37, Devrièrestraat, Antwerpen.
Mlle Schweitzer, Ecole Normale de l'Etat, Arlon.
MM. Schwetz, Directeur du Laboratoire de Stanleyville, 52, rue du Châtelain, Bruxelles.
Sebrechts, Geneesheer, 24, Beenhouwerstraat, Brugge.
Seligmann, Général, Directeur honoraire de l'Institut Cartographique Militaire, à Waterloo (H).
Servais, Clément, Inspecteur des Etudes à l'Ecole de Génie Civil de Gand, 22, rue Joseph Plateau, Gand.
Servais, L., Professeur à l'Athénée Royal de Bruxelles, 216, rue des Alliés, Forest.
Sevrin, Arthur, Professeur à l'Athénée Royal de Charleroi, 7, rue Paul Janson, Montignies-sur-Sambre.
Sevrin, Gaston, Ingénieur, 32, avenue d'Havré, Mons.
Seutin, Louis, Oisquercq.
Simon, Ivan, 56, avenue de Schaerbeek, Vilvorde.
Simonart, F., Professeur à l'Université de Louvain, boulevard Schreurs, Louvain.
Smets, Georges, Recteur de l'Université de Bruxelles, 51, rue des Bollandistes, Bruxelles.
Société anonyme du Charbonnage du Gouffre, Châtelineau (D).
Société anonyme du Charbonnage de Monceau-Fontaine, Monceau-s/Sambre (D).
Société anonyme des Charrues Melotte, Gembloux.
Société anonyme des Cristalleries du Val-Saint-Lambert.
Société anonyme des Usines de Braine-le-Comte.
Société belge de Biologie (P. Spehl), 120, rue du Cornet, Etterbeek.
Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie, Secrétariat. 119, avenue des Alliés, Louvain.
Société Chimique de Belgique, Secrétariat, 83, rue Souveraine, Ixelles.
Société d'Hygiène et de Salubrité publique de Liége (M. Schoofs, Professeur à l'Université de Liége), 41, rue Louvrex, Liége.

Société Mathématique de Belgique (M. Rose) 120, avenue Lambeau, Woluwe-Saint-Lambert.

Société des Produits Chimiques et Engrais (L. Bernard), Mesvin, Hyon-Ciply.

Société royale de Botanique de Belgique, 256, rue Royale, Bruxelles.

Société royale de Médecine de Gand, (Secrétaire, Dr De Rom), 61, boulevard Britannique, Gand.

Société royale de Paléontologie et d'Archéologie de Charleroi, (M. L. Wattiez), 33, rue de Jumet, Gosselies.

Société royale Zoologique de Belgique, (M. Marc de Selys-Longchamps), Université de Bruxelles.

Société Scientifique de Bruxelles, Collège Saint-Jean Berchmans, Eegenhoven, Louvain.

MM. Somville, O., Astronome à l'Observatoire Royal, Uccle (A).

Soupart, Arthur, Directeur du Musée Professionnel de l'Etat, à Morlanwelz.

Spehl, P., Directeur adjoint de la Fondation Reine Elisabeth, 120, rue du Cornet, Etterbeek.

Spirlet, Naturaliste, 4, rue Odon, Bruxelles.

Stassen, Marcel, Docteur en médecine, Montegnée (A).

Steinmetz, Fritz, Avocat, 77, rue Adolphe Van der Schrick, à Jette-Saint-Pierre.

Steppé Maurice, Capitaine à l'Institut Cartographique Militaire, La Cambre, Ixelles.

Sterkens, Frans, Inspecteur d'Enseignement Moyen et Normal, 119, boulevard Lambermont, Bruxelles.

Stevens, Ch., Major, Professeur de Géologie à l'Ecole Militaire, 33, rue Philippe Baucq, Bruxelles.

Stienon, Paul, Professeur à l'Athénée Royal, Ath.

Stockmans, Aide-Naturaliste au Musée d'Histoire Naturelle, 31, rue Vautier, Ixelles.

Stroobant, P., Directeur de l'Observatoire Royal d'Uccle (H).

Stroobant, Louis, Absheide, Beersse (Turnhout) (A).

Stubbe, C., 567, chaussée de Bréda, Anvers.

Swarts, Fred, Professeur à l'Université de Gand, 16, avenue Elisabeth, Gand (H).

Swings, Polydor, Assistant à l'Université de Liége, 200, rue Baiwy, Jemeppe-sur-Meuse.

Terpongoff, Jean, 99, avenue de France, Anvers.

Thiebaut, Docteur en médecine, 45, boulevard Britannique, Mons.

Thiry, Raymond, Ingénieur des Ponts et Chaussée, 14, rue du Bailly, Cointe, Sclessin.

Thomas, Jacques, 95, rue du Collège, Bruxelles.

Tiberghien, Albert, Conservateur adjoint à la Bibliothèque royale, 30, rue de la Croix, Bruxelles.

MM. Timbal, G., Directeur général de l'Administration de l'Hygiène, 138, avenue Eug. Demolder, Bruxelles.

Timmermans, Jean, Professeur à l'Université de Bruelles, 35, avenue Emile Van Becelaere, Boitsfort.

Trappeniers, 18, rue des Cultes, Bruxelles.

Tytgat, Edgard, Docteur en médecine, 28, rue Basse, Gand.

Umé, Fernand, Lieutenant-Colonel, Professeur à l'Ecole Militaire, 6, avenue de l'Armée, Bruxelles.

Van Aerden, Paul, Professeur à l'Athénée Royal d'Ostende, 18, rue du Vieux Moulin, Ostende.

Van Aerschot, P., 13, Parvis Saint-Pierre, Uccle (A).

Van Campenhout, Editeur, 22, rue des Paroissiens, Bruxelles.

Van Caneghem, Docteur en médecine, à Bruges.

Vandecam, Paul, Professeur à l'Athénée Royal, Tirlemont.

Van de Casteele, Docteur en Sciences, 30, Haut-Port, Gand (A).

Van den Berghen, P., Professeur à l'Athénée Royal, Ostende.

Van den Bossche, Joseph, Ingénieur, 10, rue du Château, Enghien.

Van den Branden, Directeur du Laboratoire central d'Hygiène, 2, Parc du Cinquantenaire, Bruxelles (A).

Van den Broeck, Ernest, Conservateur honoraire au Musée d'Histoire naturelle, 39, place de l'Industrie, Ixelles.

Van den Cruyce A., 80, avenue Secrétaire Meyer, à Merxem, Anvers.

Vandendries, René, Inspecteur de l'Enseignement Moyen et Normal, Rixensart.

Van den Dungen, F., Professeur à l'Université de Bruxelles, 55, avenue de l'Arbalète, Boitsfort.

Van den Eeckhout, André, 160, rue Georges Moreau, Anderlecht.

Vandeput, Eugène, Docteur en médecine, 20, rue Van Campenhout, Bruxelles.

Vandereuse, Jules, 52, rue du Trou du Moulin, Marcinelle.

Vanderlinden, H., Astronome à l'Observatoire Royal, 40, rue Gabrielle, Uccle.

Van der Spek, 42, rue Froissart, Etterbeek.

Van der Veken, 10, rue Fernand Lenoir, à Jette.

Van Deuren, Pierre, Colonel, Professeur à l'Ecole Militaire, 10, rue du Moniteur, Bruxelles.

Van de Walle, Hector, Professeur à l'Université de Bruxelles, 64, rue de la Brasserie, Ixelles.

Van Dooren, François, Docteur en médecine, 145, rue de Livourne, Bruxelles.

Mlle Van Driessche, Professeur à la Section d'Athénée, Ecole Moyenne des Filles, rue Mommaerts, à Molenbeek-Saint-Jean.

M. Van Heuverswyn, Secrétaire de l'Union des Anciens Etudiants de l'Université de Gand, 21, Coupure, Gand.

MM. Van Hoeter, Frédéric, 71, boulevard de Waterloo, Bruxelles.
Van Horenbeek, Liévin, 107, rue de la Station, à Héver, Malines.
Van Hove, Théodore, Professeur à l'Université de Gand, 13, rue de la Patrie, Gand.
Van Huffelen, Arthur, Geneesheer, 211, Lozanastraat, Antwerpen.
Van Laer, Marc, Professeur à l'Institut Supérieur des Fermentations, 83, rue Berckmans, Saint-Gilles.
Van Lerberghe, Georges, Professeur à l'Ecole des Mines de Mons, 148, rue Antoine Bréart, Saint-Gilles.
Van Lierde, Edmond, Professeur à l'Athénée de Bruxelles, 58, avenue Michel-Ange, Bruxelles.
Van Mieghem, Docteur en Sciences, 51, rue de Melon, Forest.

Mme Van Molle, préfète du Lycée de Schaerbeek, 183, avenue Milcamps, Bruxelles.

M. Van Mulders, Maurice, Ingénieur, 31, avenue des Pâquerettes, Uccle.

Mlle Van Opdenbosch, J., Professeur à la Section Normale de Bruxelles, 91, rue Anatole France, Bruxelles.

MM. Van Oye, Paul, Hoogleeraar te Gent, 30, Sint-Lievenslaan, Gent (A).
Van Pee, Docteur en médecine, 42, rue du Jardin Botanique, Liége.
Van Regemorter, Député permanent, 30, rue van Schoenbeke, Anvers.

Mlles Van Risseghem, Hortense, Assistante à l'Université de Bruxelles, 26, rue J.-B. Labarre, Uccle.
Van Rysselberghe, Louise, Docteur en Sciences, 20, rue Henri Waefelaers, Bruxelles (A).

MM. Van Rysselberghe, Fr., Docteur en Sciences, 20, rue Henri Waefelaers, Bruxelles.
Van Straelen, Victor, Directeur du Musée royal d'Histoire Naturelle, 31, rue Vautier, Ixelles.
Vatriquant, S., Professeur à la Section d'Athénée de Soignies, 74, rue Emile Banning, Ixelles.
Vekemans, Docteur en Sciences, 74, rue Saint-Joseph, Anvers (A).
Verbaandert, J., Assistant à l'Observatoire Royal, Uccle.
Vercleyen, Jean, 7, rue du Zodiac, Forest.
Verhoogen, René, Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Bruxelles, 22, rue Joseph II, Bruxelles.

Mlle Verhoogen, D., Assistante à l'Université de Bruxelles, 22, rue Joseph II, Bruxelles (A).

MM. Verhulst, Joris, 94, Parijsstraat, Leuven.
Verlaine, Louis, Professeur à l'Université de Liége, 42, rue Naniot, Liége.
Verly, Major, Professeur à l'Ecole Militaire, Bruxelles.

Mlle Vermeylen, Marguerite, 8, rue des Architectes, Anvers.

MM. Vernieuwe, Docteur en médecine, Professeur à l'Université de Gand, 20, rue Guillaume Tell, Gand.
Verniory, L., Docteur en médecine, Directeur du Service d'Hygiène de la Ville de Namur, 7, boulevard Ad Aquam, Namur.

MM. VERPLANCKE, Docteur en Sciences, Station Phytopathologique de l'Etat, Gembloux (A).

VERPOEST, Auguste, 11, place des Acacias, Etterbeek.

VERRIEST, G., Hoogleeraar te Leuven, 42, Vaartstraat, Leuven.

VERSCHAFFELT, J., Hoogleeraar te Gent, 192, Albertlaan, Gent.

VERVAECK, Docteur en médecine, Directeur général du Laboratoire d'Anthropologie pénitentiaire, 35, rue Verhulst, Uccle.

VOGELS, Henri, Assistant à l'Université de Bruxelles, 76, avenue Adolphe Buyl, Ixelles.

WARZÉE, Assistant à l'Observatoire Royal, Uccle.

WATRIN, M., Docteur en médecine, 59, rue Louvrex, Liége.

WATTIEZ, N., Professeur à l'Université de Bruxelles, 40, boulevard Emile Bockstael, Bruxelles II[e].

WAUTERS, Jules, Directeur honoraire du Laboratoire de la Ville de Bruxelles, 83, rue Souveraine, Ixelles.

WEEKERS, Léo, Professeur à l'Université de Liége, 15, rue Forgeur, Liége.

WILLEM, V., Professeur à l'Université de Gand, 57, rue du Jardin, Gand.

WILLEMS, R., Docteur en Médecine, Inspecteur au Laboratoire de l'Inspection Vétérinaire de l'Etat, 45, rue des Vétérinaires, à Cureghem.

WISKEMAN, Otto, Industriel, 88, rue Mercelis, Bruxelles.

M[lle] WUILLOT, 32, place de l'Industrie, Bruxelles.

MM. WUYTS, Henri, Professeur à l'Université de Bruxelles, 30, rue Vilain XIIII, Bruxelles.

WYBAUW, René, Docteur en Médecine, 226, avenue Molière, Bruxelles.

ZUNZ, Edgard, Docteur en Médecine, Professeur à l'Université de Bruxelles, 67, rue des Deux Eglises, Bruxelles.

INDEX ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS

TABLE DES MATIÈRES

Troisième Section : CHIMIE

Quatrième Section : ASTRONOMIE

HUITIÈME SECTION : ZOOLOGIE.

SOUS-SECTION D'ENTOMOLOGIE.

Pages

ONZIÈME SECTION : SCIENCES MÉDICALES.

DOUZIÈME SECTION : HYGIÈNE.



ERRATA

Page 151 : dans le titre, au lieu de AZURITF, lire AZURITE.

Page 383 : dans le titre, au lieu de SMELPUNT, lire SMELTPUNT.

Page 583 : dans le titre, au lieu de COALS, lire COAL.

Page 587 : ligne 21, au lieu de sapropel, lire sapropèle; ligne 6 (à partir du bas), au lieu de Phyllogénie, lire Phylogénie.

Page 622 : ligne 10, au lieu de p. 640, lire p. 621 ; ligne 8 des Notes infrapaginales, au lieu de *Pleraspis*, lire *Pteraspis*.

Imprimerie Georges Thone
Liége, Belgique

